EDF - R&D

DEPARTEMENT "MANAGEMENT DES RISQUES INDUSTRIELS"



Décembre 2003

GROUPE : ANALYSE DES RISQUES
DES ORGANISATIONS ET SYSTEMES
1, AVENUE DU GÉNÉRAL DE GAULLE
F-92141 CLAMART CEDEX
TEL : 33 1 01 47 65 44 16
FAX : 33 1 01 47 65 51 73

6, QUAI WATIER
F-78400 CHATOU
TEL : 33 1 01 30 87 74 42
FAX : 33 1 01 30 87 80 80

BOUISSOU M., FLORI A.*

Manuel d'utilisation de la base de connaissances BDMP pour KB3

HT-52/03/039/A

* Société Aristè 25-27, avenue de la Division Leclerc - 92160 Antony.

Documents associés : Voir aussi :
Annule et remplace :
Annexe de :

Résumé :
La base de connaissances BDMP est une base "abstraite", donc utilisable pour réaliser des modèles de systèmes de toute catégorie, dans le but d'évaluer leur fiabilité ou disponibilité. Elle concrétise tous les concepts formels développés dans un article théorique qui définit les "Boolean logic Driven Markov Processes". Les BDMP permettent de construire des modèles au comportement dynamique très marqué, avec un formalisme graphique très proche de celui des arbres de défaillances. La base de connaissances BDMP inclut divers modèles standard de processus markoviens pour les feuilles (qui représentent des modes de défaillances ou des composants) et aussi la possibilité de définir des modèles particuliers grâce aux réseaux de Petri. Elle permet aussi de modéliser les dépendances dues au partage d'équipes de maintenance.

Accessibilité : LIBRE

EDF - R&D

INDUSTRIAL RISK MANAGEMENT



December 2003

ORGANISATIONS AND SYSTEMS RISKS
ANALYSIS GROUP
1, AVENUE DU GÉNÉRAL DE GAULLE
F-92141 CLAMART CEDEX
TEL : 33 1 01 47 65 44 16
FAX : 33 1 01 47 65 51 73

6, QUAI WATIER
F-78400 CHATOU
TEL : 33 1 01 30 87 74 42
FAX : 33 1 01 30 87 80 80

BOUISSOU M., FLORI A.*

User's manual of the BDMP knowledge base for KB3

HT-52/03/039/A

* Société Aristè 25-27, avenue de la Division Leclerc - 92160 Antony.

Related Documents : See also :
Replace :
Appendix to :

Abstract :
The knowledge base BDMP is an " abstract " knowledge base: it is designed to support modeling of systems of any category, with the aim of estimating their reliability or availability. It implements all the formal concepts developed in a theoretical article which defines "Boolean logic Driven Markov Processes". BDMPs allow to build models featuring a very dynamic behavior, with a graphic formalism very close to fault-trees. The knowledge base BDMP includes different standard models of markovian processes for leaves (which represent failure modes or components) and also the possibility of defining particular models thanks to Petri nets. It also allows to model dependences due to the sharing of maintenance teams.

Auteur(s)	BOUISSOU M., FLORI A.*
Code Action	T5280P
Classement Interne	Numéro du DAF : T5-81

Type de rapport	Manuel utilisateur
Nombre de pages	58
Orientation dans le fonds documentaire	☑ EDF DOC (accès à tous les agents EDF) ☐ R&D DOC (accès aux seuls agents R&D)
Mots-clés	BDMP, KB3, Markov, Réseau de Petri, arbre de défaillances, fiabilité, disponibilité

Indice	Auteur	Vérificateur	Approbateur
A	P/O FLORI Anne BOUISSOU Marc visé le 10-12-03 [signature]		DUVAL Carole visé le 19-01-04 [signature] ☑ Autorise l'exploitation de la version électronique de cette note* pour alimenter les fonds documentaires de Galaxie. * *sauf pour les notes confidentielles.*

	Destinataire	Dept	Nb	Destinataire	Dept	Nb
@	fonds-documentaire@edf.fr	CIVAP	1	Groupe T52	MRI	1
	Magne L.	MRI	S	Groupe T51	MRI	1
	Khin-Yedid C.	MRI	S	Pestourie J.	MIRE	1
	Primet J..	MRI	S	Breton E.	MIRE	1
	Duval C.	MRI	1	Spelleman C.	MIRE	1
	Montat D.	MRI	S	Malarange G.	MIRE	1
	Lainé P.	MRI	S			
	Aurori C.	MRI	S			
	Hernandez A.L.	MRI	S			
	Guillet J.	MRI	S			

Pré diffusion aux destinataires signalés par *	Diffusion : P pour pages de garde et contrôle, S pour pages de garde, de contrôle et de synthèse @ pour version électronique

Répertoire des modifications du document

Référence	Désignation des modifications	Observations

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION

Ce manuel s'adresse aux utilisateurs de KB3 voulant construire et exploiter des modèles avec la base de connaissances BDMP. Il correspond à la version 1.7 de la base, utilisable avec KB3 V2, ou à la version (fonctionnellement équivalente) 1.8, utilisable avec KB3 V3. Il décrit exhaustivement les éléments contenus dans la base de connaissances, avec leurs caractéristiques et leur emploi.

Ce document est structuré autour de quatre grands chapitres présentant successivement :

- les principes de base du formalisme BDMP (Boolean logic Driven Markov Processes),
- la modélisation des réseaux de Petri dans la base et les liens avec les arbres BDMP,
- une description des types d'objets présents dans la base BDMP (les types BDMP et les types Petri) et de leurs caractéristiques,
- les chaînes de traitements réalisables sur un BDMP à partir des outils logiciels KB3 et FigSeq.

Ce manuel n'a pas la prétention de décrire les concepts formels théoriques du formalisme BDMP. Pour des précisions complémentaires sur ces aspects, nous renvoyons le lecteur aux documents [1] et [2] en référence.

Il donne un seul exemple de modèle construit avec la base de connaissances, afin d'illustrer sur un cas de complexité moyenne les possibilités de simulation interactive et le type de résultats que l'on peut obtenir avec FigSeq. Des exemples didactiques variés montrant différentes "astuces" de modélisation fréquemment utilisées sont livrés avec la base de connaissances, et commentés dans des transparents supports de cours [6].

Par ailleurs, concernant les aspects utilisation des logiciels KB3 et FigSeq, nous renvoyons également le lecteur aux guides d'utilisation de ces deux logiciels ([3, 4, 5]).

2. RÉFÉRENCES

[1] Marc Bouissou, Boolean logic driven Markov processes: a powerful new formalism for specifying and solving very large Markov models, PSAM6, Puerto Rico, juin 2002.

[2] Marc Bouissou & Jean-Louis Bon, A new formalism that combines advantages of fault-trees and Markov models: Boolean logic Driven Markov Processes, Reliability Engineering and System Safety, Volume 82, Issue 2, November 2003, Pages 149-163.

[3] Manuel utilisateur du logiciel KB3 V2, HT-53/98/012A, septembre 1998.

[4] Guide d'utilisation de KB3 V3, juillet 2003.

[5] Manuel utilisateur de FigSeq, HT-52/03/021/A.

[6] Transparents pour la formation à l'utilisation des BDMP.

3. PRINCIPES DU FORMALISME BDMP

3.1 PRINCIPE GENERAL

Les BDMP (Boolean logic Driven Markov Processes) sont un nouveau formalisme pour faciliter la construction et la résolution de modèles markoviens de grande taille en combinant dans le même paradigme des concepts issus des arbres de défaillances et des graphes de Markov. Ils permettent de modéliser des systèmes dynamiques complexes de manière conviviale avec un traitement (calcul) très puissant grâce à une réduction importante de la combinatoire (surtout lors de la recherche de séquences prépondérantes conduisant à un événement indésirable).

Le principe simplifié du formalisme des BDMP est de remplacer :

- les modèles simples de feuilles d'un arbre de défaillances par des **Processus de Markov quelconques**. Les états de ces processus sont classés en deux catégories (habituellement interprétées comme les états de "marche" et de "panne"). Suivant la catégorie à laquelle appartient l'état d'une feuille à un instant donné, "l'événement" correspondant à cette feuille est considéré comme vrai (pour un état de "panne") ou faux (pour un état de "marche").
- l'indépendance totale des feuilles d'un arbre de défaillances par des **dépendances simples**. Chaque feuille a deux modes "sollicité" et "non sollicité", correspondant à deux processus de Markov différents. Le choix du mode dans lequel une feuille se trouve à un instant donné est déterminé par la valeur (vrai ou faux) d'un ensemble de feuilles. Les transitions entre ces deux modes définissent éventuellement des états instantanés dans lesquels on peut déclencher des transitions instantanées probabilisées (pour modéliser par exemple des refus de démarrage).

3.2 STRUCTURE D'UN BDMP

La structure globale d'un BDMP est donnée par une fonction logique de type arbre de défaillances. Un BDMP est constitué des éléments suivants :

- un arbre de défaillances (multi-tops) cohérent F,
- un événement top principal r,
- un ensemble de **"gâchettes"** T,
- un ensemble de **"processus de Markov pilotés"** Pi associés aux événements de base de l'arbre F,
- la définition de deux catégories d'états (marche et panne) pour les processus Pi.

Le principal événement top (r) du BDMP est sensé représenter l'ensemble des états de panne du processus markovien global.

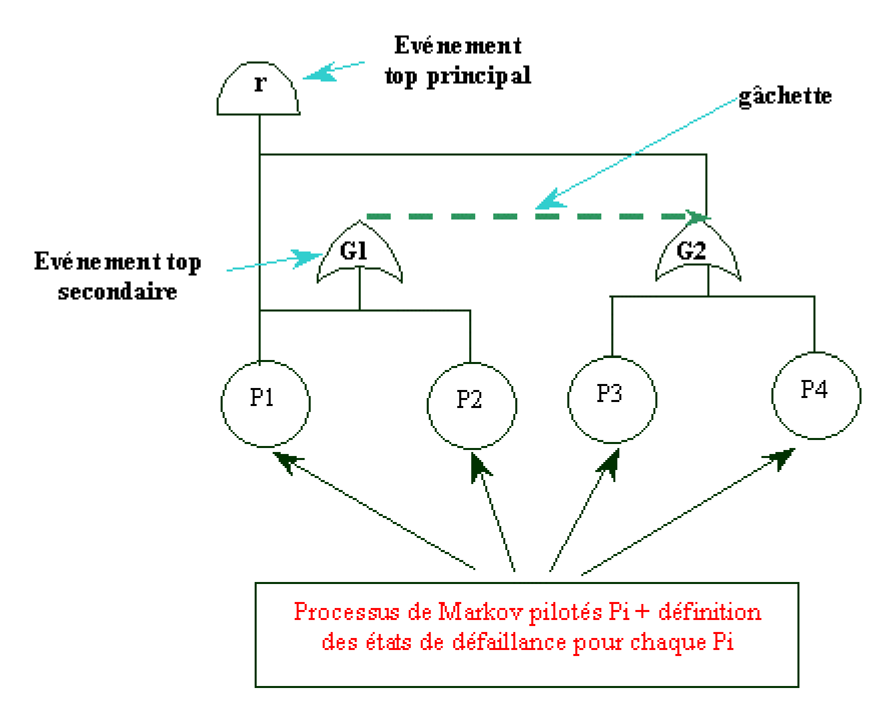


Figure 1 : Structure globale d'un BDMP

Si on considère le BDMP ci-dessus, on a donc la structure logique d'un arbre de défaillances avec en plus une gâchette, ayant pour origine la porte G1 et pour cible la porte G2, et des définitions pour chaque processus Pi. La gâchette entre les deux portes G1 et G2 joue un rôle d'activation des modes de défaillances des processus P3 et P4.

3.3 DIFFERENCES ENTRE UN ARBRE DE DEFAILLANCES CLASSIQUE ET UN BDMP

Un BDMP sans gâchette équivaut à un arbre de défaillances classique. Dans un BDMP avec gâchette, les défaillances des composants ne sont pas toutes possibles dans l'état initial, seules celles des événements **sollicités** le sont.
Dans un BDMP, les portes sans parent (portes top) sont sollicitées par défaut. Ces sollicitations se propagent de "père" en "fils" tout au long des branches du BDMP jusqu'à ce qu'elles rencontrent une arrivée d'une gâchette de déclenchement. La présence d'une telle arrivée conditionne le passage du signal de sollicitation ; ainsi la porte cible transmet la sollicitation à ses descendants seulement si l'événement qui est à l'origine de la gâchette est vrai. Si c'est le cas, la sollicitation est ensuite transmise aux portes et feuilles en dessous suivant le même principe.

Attention cette définition est légèrement différente de celle, plus facile à exprimer et à laquelle on pourrait penser à première vue : une porte ou une feuille est sollicitée seulement si elle reçoit un signal de ses parents ou directement via une gâchette de déclenchement.

L'utilisation des gâchettes ou liens "de déclenchement" permet de modéliser simplement des redondances passives, en déclenchant à bon escient les défaillances à la sollicitation ou en fonctionnement des composants de secours.

L'explosion combinatoire du nombre de séquences à explorer pour quantifier un modèle BDMP est considérablement limitée par l'emploi de la notion d'**événement pertinent**. En effet, dès qu'un des fils d'une porte OU est à VRAI, les défaillances des autres fils (et descendants) ne sont plus "pertinentes" ; elles sont inhibées. On évite ainsi de nombreuses séquences contenant des événements "non pertinents" puisque agissant sur des parties de système déjà perdues. Par exemple, le filtrage des événements pertinents permet d'inhiber des modes de défaillance supplémentaires d'un composant déjà défaillant, ce qui est souvent plus réaliste que de continuer à les autoriser (cas des modes de défaillance mutuellement exclusifs d'un composant qui ne peut défaillir que s'il est alimenté...). Toutefois, on a la possibilité de forcer localement le déclenchement de certaines défaillances au niveau de chaque porte ou feuille.

Par exemple, considérons le BDMP de la Figure 2 pour lequel deux défaillances sont possibles dans son état initial.

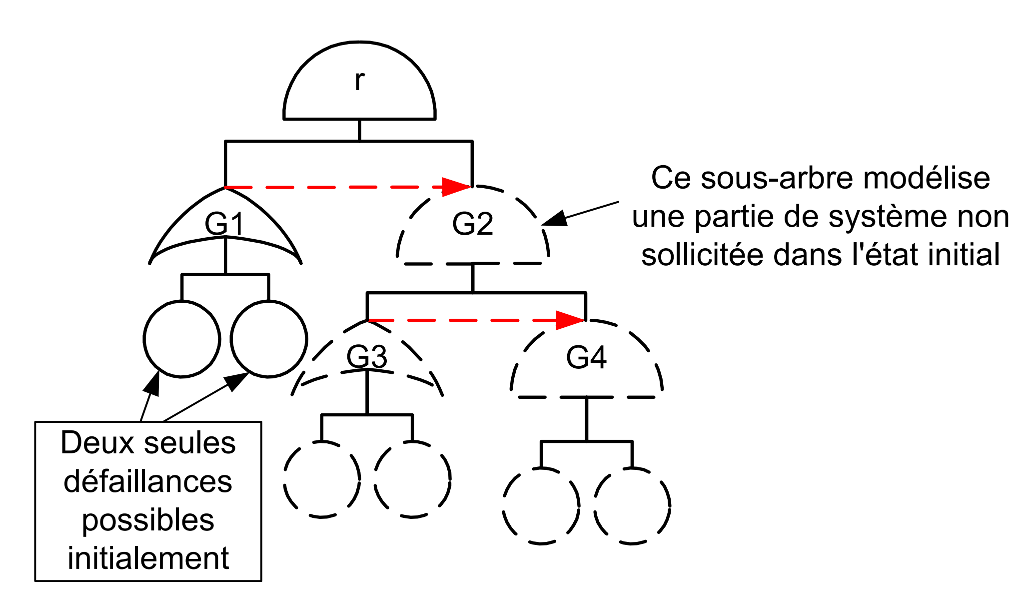


Figure 2 : BDMP dans son état initial

La panne de l'un des composants de base sollicités déclenche l'activation de la porte G2 qui rend sollicités d'autres composants (Figure 3) et donc possibles d'autres défaillances du processus (fils de G3). En revanche, la deuxième défaillance sous la porte G1 devient non pertinente et est donc inhibée tant que la porte G1 reste à vrai.

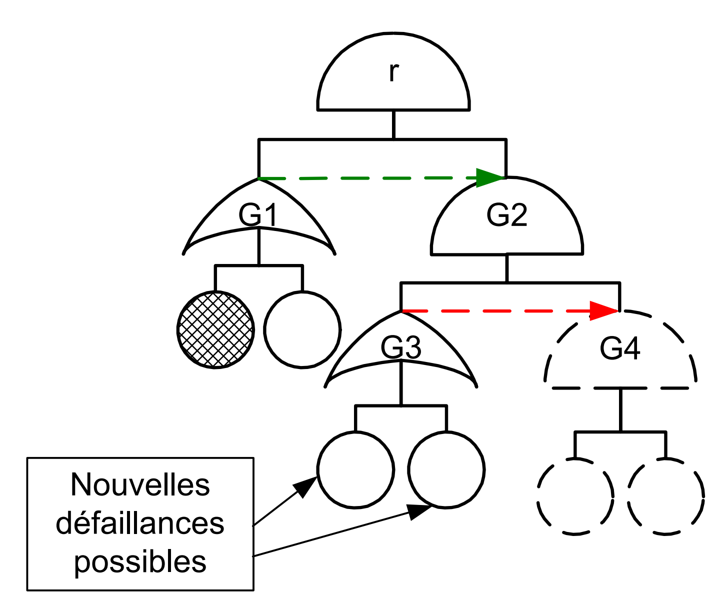


Figure 3 : BDMP après une défaillance

La panne de l'un des composants de base fils de G3 déclenche la possibilité de défaillances sous G4 (Cf. Figure 4) et inhibe l'autre défaillance sous G3.

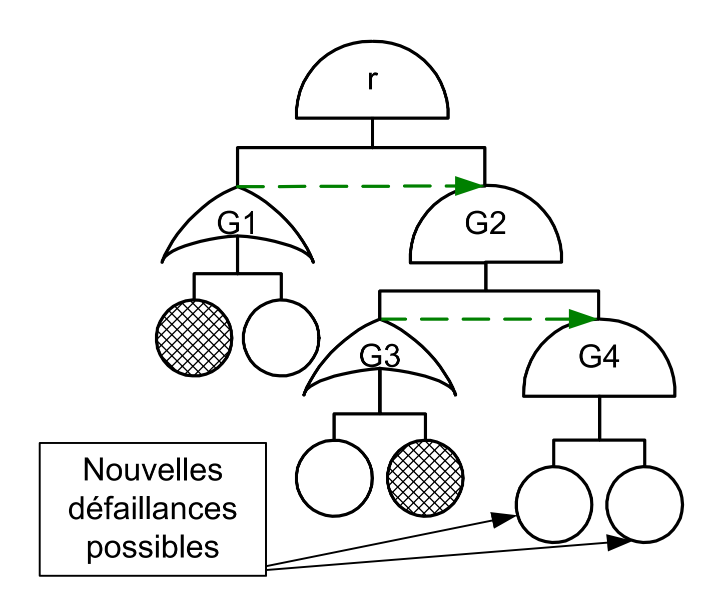


Figure 4: BDMP après deux défaillances

Dans l'exemple ci-dessus, on a supposé que toutes les défaillances étaient du type "en fonctionnement". Les défaillances à la sollicitation (type refus d'ouverture d'un disjoncteur, refus de démarrage d'un diesel…), qui correspondent à un type de feuille différent, sont déclenchables **lors du changement de mode** pour la feuille, lorsqu'elle passe du mode non sollicité au mode sollicité.

Si lors de la propagation par les gâchettes et les branches de l'arbre des changements de mode dus à une défaillance, n feuilles passent simultanément du mode non sollicité au mode sollicité, cela signifie qu'on a autant de sollicitations indépendantes et qu'il faut examiner toutes les 2^n combinaisons d'issues possibles.

Les BDMP permettent, grâce à des liens dits "de précédence" (en gris clair dans les figures ci-

après), de contraindre l'ordre dans lequel les réponses à des sollicitations sont examinées. Ce mécanisme permet de gagner à la fois en précision de la modélisation et en effort de calcul. Il permet de diminuer notablement la combinatoire des séquences à examiner.

3.4 ALGORITHME SIMPLIFIE DU BDMP

Les étapes simplifiées de l'algorithme de calcul d'un BDMP sont les suivantes :

- Le BDMP est initialisé en choisissant les états des processus de Markov pilotés Pi. L'utilisateur n'a pas le choix quant aux modes initiaux : ils sont calculés automatiquement en fonction de la structure du BDMP et des états choisis pour les Pi.
- Lorsque un des Pi change d'état, l'effet de ce changement est propagé dans le BDMP :
  - D'abord, les fonctions de structure (effet *real*) sont réévaluées, ainsi que les indicateurs d'événements pertinents (effet *evt_pertinent*) et les sélecteurs de processus (effet *soll*) qui s'en déduisent,
  - Puis, pour chaque Pi dont le sélecteur de processus (effet *soll*) a changé et dont l'indicateur de pertinence (effet *evt_pertinent*) est à VRAI, la fonction de transfert associée est appliquée pour définir vers quels états le processus va (instantanément) et avec quelles probabilités. Cela peut déclencher d'autres changements de mode en cascade.
- Les processus de Markov pilotés Pi dont l'indicateur de pertinence est à FAUX sont modifiés : leurs transitions "de défaillance" (c'est-à-dire faisant passer l'effet *real* de FAUX à VRAI) sont inhibées jusqu'à ce que leur indicateur de pertinence repasse à VRAI.

4. MODELISATION DES RESEAUX DE PETRI DANS LA BASE BDMP

La base BDMP propose essentiellement trois types de feuilles standard, qui suffisent à construire des modèles extrêmement variés :

- *feuille_f* : modélise une défaillance en fonctionnement, qui ne peut se produire que si la feuille est sollicitée. Cette défaillance est réparable,
- *feuille_af* : modélise un composant susceptible d'avoir une défaillance en attente et une défaillance en fonctionnement, avec des taux de défaillance distincts. Ces deux défaillances sont mutuellement exclusives, et les réparations associées suivent la même loi,
- *feuille_i* : modélise une défaillance au démarrage, susceptible de survenir lorsque la feuille passe d'un état non sollicité à un état sollicité (ou le contraire, suivant la valeur qu'on choisit pour la constante quand_declencher),

feuille_mult est un type supplémentaire, équivalent à un ensemble de *feuille_f* identiques sous une porte k/n : en représentant cet ensemble par un processus agrégé, elle permet de diminuer fortement la combinatoire des séquences (Cf. § 5.1).

Si aucune de ces feuilles ne convient à la modélisation d'un système, la base propose la feuille de type *feuille_petri* permettant de relier l'arbre BDMP proprement dit, modélisant une partie du système, à un réseau de Petri modélisant une autre partie du système (Cf. le schéma de principe de la Figure 5).

Les transitions du réseau de Petri sont autorisées ou interdites suivant que la feuille de Petri qui leur est associée est sollicitée ou non (effet *soll*). La réalisation de la feuille de Petri (effet *real*) est conditionnée par l'état du réseau (marquage des places).

Un réseau de Petri est modélisé dans la base à l'aide d'arcs et de transitions dont les différents types sont décrits au paragraphe 5.3.

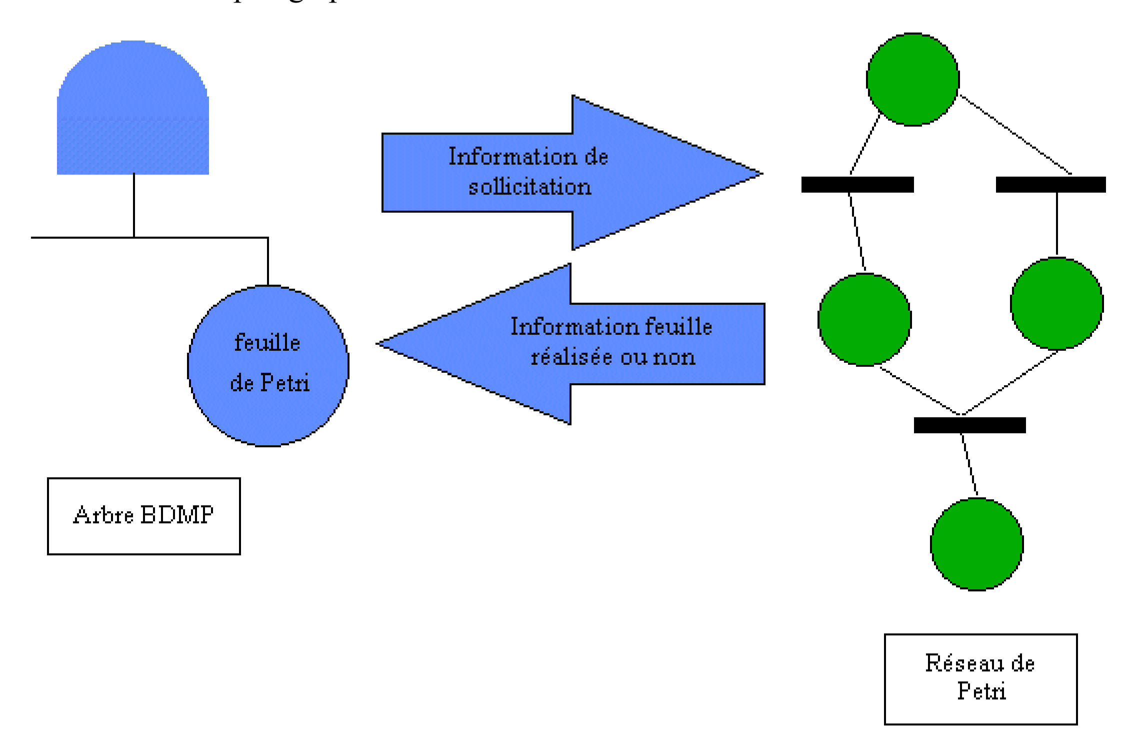


Figure 5 : représentation schématique du lien entre un arbre BDMP et un réseau de Petri

5. TYPES DES OBJETS DE LA BASE

Les types des objets de la base BDMP sont classés en trois catégories[1] :

- les types correspondant à des BDMP standard, suffisant à la description des cas les plus courants,
- les types compléments permettant d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires aux BDMP standard,
- les types Petri permettant de modéliser les réseaux de Petri. Les liens entre les réseaux de Petri et les arbres BDMP sont assurés par des feuilles de type *feuille_petri* qui s'utilisent

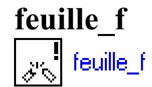
[1] Dans l'outil KB3, l'utilisateur peut appliquer des filtres de présentation sélectionnant chacune des trois catégories de types d'objet. Pour KB3 V3, rappelons qu'il suffit pour cela de sélectionner la commande *Define hierarchy filter* dans le menu *View* qui propose alors à l'utilisateur des options de filtres sur les nœuds, les liens et, plus particulièrement, les *BDMP_standard*, les *compléments* et les *Petri*. Le choix de l'une de ces dernières options provoque la restriction de l'affichage aux objets correspondant à la catégorie choisie dans le répertoire *Objects* de l'onglet *Objects* de l'étude.

comme des feuilles standard au sein de la structure d'arbre du BDMP, et liées de manière non graphique aux transitions et à un message booléen du réseau de Petri grâce à des remplissages manuels d'interfaces.

Dans la suite de ce paragraphe, nous présentons les types d'objets et les propriétés de leurs caractéristiques (interface, constante, attribut, panne, effet) ; celles en grisé ne sont pas modifiables par l'utilisateur. Nous terminons ce paragraphe par la description des variables globales.

5.1 TYPES BDMP_STANDARD

feuille_f



Ce type d'objet sert à modéliser une défaillance en fonctionnement, éventuellement réparable (si mu est non nul). Sa défaillance ne peut se produire que si la feuille est sollicitée, mais la réparation n'est conditionnée que par la constante *systeme_reparable* du type global *options* (Cf. § 5.4).

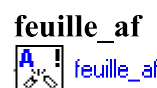
Ces feuilles peuvent être agrégées sous une *porte_ou_approx* en une feuille équivalente unique.
Elles peuvent également servir de "drapeaux", ou feuilles constamment à VRAI ou à FAUX, qui permettent de modéliser plusieurs variantes d'un modèle en un seul BDMP. Cela est utile en particulier si on cherche à optimiser la structure d'un système, car un modèle unique permet, par simple changement de valeurs booléennes, d'en représenter de nombreuses variantes.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
equipe_rep	equipe_reparation	0 à infini	Oui	Si cette interface est laissée vide, cela revient à supposer que la feuille possède son propre réparateur ; elle est donc réparée indépendamment du reste du système. Si elle contient une ou plusieurs équipes de réparation, cela signifie qu'il faut un réparateur de chacune des équipes citées pour effectuer la réparation. Les réparateurs sont rendus à leurs équipes respectives en fin de réparation.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1)
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents

				lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
priorite_rep	Entier	1	Oui	Indicateur permettant de spécifier un ordre d'attribution des réparateurs dans les situations où il faut faire un choix entre plusieurs feuilles en panne (par exemple lorsque des réparateurs sont libérés à la fin d'une réparation). On commence par réparer les feuilles dont *priorite_rep* est le plus faible.
mu	Réel	0.1	Oui	Taux de réparation de la feuille.
lambda	Réel	0.0001	Oui	Taux de défaillance de la feuille en mode sollicité.
deff_FIGE	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante, mise à VRAI, permet de figer l'état de la panne *deff*, qui reste indéfiniment dans l'état initial choisi par l'utilisateur. Cela permet d'utiliser la feuille_f comme un "drapeau", qui, par le simple changement de la valeur de *deff*, modifie la structure du BDMP.
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
attente_rep	Booléen	FAUX	Oui	Indicateur du fait que la feuille est en attente d'un réparateur. N'est significatif que si la panne *deff* est à VRAI.
Panne				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
deff	Oui	défaillance en fonctionnement		
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, la feuille modélise un événement réalisé (correspondant en général à une défaillance de composant). C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans la feuille courante peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques du type *feuille_f*

feuille_af



Ce type d'objet sert à modéliser un composant susceptible d'avoir une défaillance en attente (taux = *lambda_attente*) et une défaillance en

fonctionnement (taux = *lambda*). Ces deux défaillances sont mutuellement exclusives, et éventuellement réparables (si mu est non nul). La défaillance en attente est supposée détectée (et donc réparée) de la même manière que la défaillance en fonctionnement. La réparation n'est conditionnée que par l'option globale *systeme_reparable* (Cf. § 5.4).

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
equipe_rep	equipe_reparation	0 à infini	Oui	Si cette interface est laissée vide, cela revient à supposer que la feuille possède son propre réparateur ; elle est donc réparée indépendamment du reste du système. Si elle contient une ou plusieurs équipes de réparation, cela signifie qu'il faut un réparateur de chacune des équipes citées pour effectuer la réparation. Les réparateurs sont rendus à leurs équipes respectives en fin de réparation.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1)
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
priorite_rep	Entier	1	Oui	Indicateur permettant de spécifier un ordre d'attribution des réparateurs dans les situations où (par exemple lorsque des réparateurs sont libérés à la fin d'une réparation) il faut faire un choix entre plusieurs feuilles en panne. On commence par réparer les feuilles dont *priorite_rep* est le plus faible.
mu	Réel	0.1	Oui	Taux de réparation de la feuille.
lambda	Réel	0.0001	Oui	Taux de défaillance de la feuille en mode sollicité.
deff_FIGE	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'inhiber la défaillance *deff*.
defa_FIGE	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'inhiber la défaillance *defa*.
lambda_attente	Réel	1e-005	Oui	Taux de défaillance de la feuille lorsqu'elle est dans le mode non sollicité.

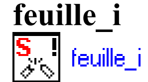
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
attente_rep	Booléen	FAUX	Oui	Indicateur du fait que la feuille est en attente d'un réparateur. N'est significatif que si la panne *deff* ou *defa* est à VRAI.

Panne		
Nom	*Modifiable*	*Description*
deff	Oui	défaillance en fonctionnement
defa	Oui	défaillance en attente

EFFET		
Nom	*Modifiable*	*Description*
real	Non	Si cet effet est VRAI, la feuille modélise un événement réalisé (correspondant en général à une défaillance de composant). C'est l'équivalent de la variable Si de [1].
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans la feuille courante peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].

Tableau 2 : Récapitulatif des caractéristiques du type *feuille_af*

feuille_i



Ce type d'objet sert à modéliser une défaillance au démarrage, susceptible de survenir lorsque la feuille passe d'un état non sollicité à un état sollicité ou le contraire suivant la valeur de la constante *quand_declencher*.
Il est possible de contraindre l'ordre dans lequel sont examinés les résultats de plusieurs *feuille_i* sollicitées en même temps, grâce à des liens *lien_precede*. Ceci permet de réduire la combinatoire des séquences, car suivant le résultat de la première sollicitation examinée, les suivantes peuvent être inhibées par le filtrage des événements pertinents ou éliminées par les critères de troncature de FigSeq.
La défaillance est éventuellement réparable (si mu est non nul).
La réparation n'est conditionnée que par l'option globale *systeme_reparable* (Cf. § 5.4).

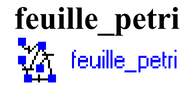
Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
equipe_rep	equipe_reparation	0 à infini	Oui	Si cette interface est laissée vide, cela revient à supposer que la feuille possède son propre réparateur ; elle est donc réparée indépendamment du reste du système. Si elle contient une ou plusieurs équipes de réparation, cela signifie qu'il faut un réparateur de chacune des équipes citées pour effectuer la

				réparation. Les réparateurs sont rendus à leurs équipes respectives en fin de réparation.
precedent	feuille_i	0 à infini	Non	Ensemble de *feuille_i* qui doivent être déclenchées avant la feuille courante.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1)
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
priorite_rep	Entier	1	Oui	Indicateur permettant de spécifier un ordre d'attribution des réparateurs dans les situations où (par exemple lorsque des réparateurs sont libérés à la fin d'une réparation) il faut faire un choix entre plusieurs feuilles en panne. On commence par réparer les feuilles dont *priorite_rep* est le plus faible.
mu	Réel	0.1	Oui	Taux de réparation de la feuille.
gamma	Réel	0.0001	Oui	Probabilité de défaillance lors d'un changement de mode.
quand_declencher	non_soll_vers_soll soll_vers_non_soll	non_soll_vers_soll	Oui	Précise si la défaillance instantanée modélisée par la feuille doit être déclenchée lors du passage du mode non sollicité au mode sollicité (cas le plus courant) ou bien dans le cas contraire.
defi_FIGE	Booléen	FAUX	Oui	Permet d'inhiber la défaillance defi.
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § □). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
attente_rep	Booléen	FAUX	Oui	Indicateur du fait que la feuille est en attente d'un réparateur. N'est significatif que si la panne *defi* est à VRAI.
Panne				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
defi	Oui	défaillance instantanée		

EFFET		
Nom	*Modifiable*	*Description*
real	Non	Si cet effet est VRAI, la feuille modélise un événement réalisé (correspondant en général à une défaillance de composant). C'est l'équivalent de la variable Si de [1].
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans la feuille courante peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques du type *feuille_i*

feuille_petri



Ce type de feuille sert à modéliser des comportements non prévus dans les autres types de feuilles.
Elle doit être en interaction avec un réseau de Petri. Pour cela, on doit la mettre dans l'interface feuille de toutes les transitions du réseau de Petri concerné (Cf. § 5.3).

Lors du passage des règles d'interaction, donc dans la phase d'initialisation du modèle ou après le choix d'une transition, qu'elle soit dans le réseau de Petri ou ailleurs dans le modèle, on a successivement :

- l'effet *real* qui prend une valeur identique à celle de l'attribut *valeur* du message (message, message_et, message_ou, test_place) du réseau de Petri concerné qui est dans l'interface *msg_pilote*.
- la mise à jour de l'attribut *soll* de la feuille (feuille sollicitée ou non) en fonction des propagations d'effets *real*.

Lors du prochain passage des règles d'occurrence, les transitions du réseau de Petri associé à la feuille sont ainsi informées de la valeur de *soll*, ce qui permet de spécifier si elles sont déclenchables ou non en fonction de cette valeur.

Remarque :
Il est impossible de conditionner le tir des transitions instantanées du réseau de Petri associé par l'état sollicité ou non de la feuille. En effet, on aurait alors des bouclages non maîtrisables entre déclenchements de transitions instantanées qui changeraient les sollicitations qui déclencheraient des transitions instantanées...

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
msg_pilote	message	1	Oui	*msg_pilote* doit contenir un et un seul message (message, message_et, message_ou, test_place) appartenant à un réseau de Petri. Ce message sert à donner la valeur de l'effet *real* de la feuille_petri courante.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. §

	toujours_vrai toujours_faux			5.1.1).
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].

EFFET		
Nom	*Modifiable*	*Description*
real	Non	Si cet effet est VRAI, la feuille modélise un événement réalisé (correspondant en général à une défaillance). C'est l'équivalent de la variable Si de [1].

Tableau 4 : Récapitulatif des caractéristiques du type *feuille_petri*

feuille_mult

feuille_mult

Ce type d'objet équivaut à un ensemble de feuilles de type *feuille_f* jouant des rôles symétriques, placées sous une porte k/n. L'utilisation d'un tel groupe diminue fortement la combinatoire des séquences.
La constante *nb_requis* précise le nombre minimal de composants du groupe qui doivent fonctionner pour que la feuille soit dans l'état *real* = FAUX.
En prenant *nb_requis* = 1, on a un système parallèle.
En prenant *nb_requis* = effectif, on a un système série.
Les défaillances ne peuvent se produire que si la feuille est sollicitée. Les réparations sont conditionnées par l'option globale *systeme_reparable* (Cf. § 5.4).

Les réparateurs sont internes à la feuille. On peut prendre en compte une limitation du nombre de réparateurs grâce à la constante *nb_reparateurs*. On ne peut pas partager des réparateurs entre une *feuille_mult* et des feuilles d'autres types.

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1).
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
mu	Réel	0.1	Oui	Taux de réparation d'un des éléments modélisé par la feuille.

lambda	Réel	0.0001	Oui	Taux de défaillance d'un des éléments modélisé par la feuille en mode sollicité.
effectif	Entier	10	Oui	Nombre d'éléments dans le groupe.
nb_requis	Entier	8	Oui	La constante *nb_requis* précise le nombre minimal de composants du groupe qui doivent fonctionner pour que la feuille soit dans l'état *real* = FAUX.
nb_reparateurs	Entier	10	Oui	La constante *nb_reparateurs* permet de prendre en compte un nombre limité de réparateurs (attention à la cohérence des valeurs données à *nb_OK, nb_rep_en_cours, nb_reparateurs*)
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
nb_OK	Entier	effectif	Oui	Dans la définition de l'état initial, attention à la cohérence des valeurs données à *nb_OK*, *nb_rep_en_cours*, *nb_reparateurs*
nb_rep_en_cours	Entier	0	Oui	Dans la définition de l'état initial, attention à la cohérence des valeurs données à *nb_OK*, *nb_rep_en_cours*, *nb_reparateurs*
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, la feuille modélise un événement réalisé (le nombre de composants non défaillants du groupe est strictement inférieur à *nb_requis*). C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans la feuille courante peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 5 : Récapitulatif des caractéristiques du type *feuille_mult*

porte_k_sur_n

k/n porte_k_sur_n

Porte "classique" d'arbre de défaillances. Son effet *real* vaut VRAI lorsque au moins k de ses fils ont leur effet *real* à VRAI.

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut soll (Cf. § 5.1.1).
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le

				filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
k	Entier	2	Oui	
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, l'événement courant est réalisé. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 6 : Récapitulatif des caractéristiques du type *porte_k_sur_n*

porte_et

ET porte_et

Porte "classique" d'arbre de défaillances.

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1)
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, l'événement courant est réalisé. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		

evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].

Tableau 7 : Récapitulatif des caractéristiques du type *porte_et*

porte_ou

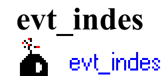
porte_ou

Porte "classique" d'arbre de défaillances.

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1)
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, l'événement courant est réalisé. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 8 : Récapitulatif des caractéristiques du type *porte_ou*

evt_indes



Ce type d'objet a un rôle purement "décoratif" : il sert à repérer graphiquement la racine principale (celle qui définit les états de panne de l'ensemble du système modélisé) d'un arbre BDMP. Aucune de ses caractéristiques n'est modifiable. Il est placé en amont d'une unique porte sommet d'arbre à laquelle il est relié par un lien *lien_logique*.
L'événement indésirable est réalisé si et seulement si la porte sommet à laquelle il est relié est réalisée.

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). Il vaut toujours VRAI. C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, l'événement décrit par la porte fille de l'objet courant est réalisé. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Cet effet vaut toujours VRAI. Cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 9 : Récapitulatif des caractéristiques du type *evt_indes*

lien_logique



Lien logique reliant les différents événements d'un arbre de défaillances.

Le lien *lien_logique* relie un événement de type *porte_k_sur_n*, *porte_et*, *porte_ou* ou *evt_indes* à un autre événement de type porte (*porte_k_sur_n*, *porte_et*, *porte_ou, porte_ou_approx, porte_puis*) ou feuille (*feuille_af, feuille_f*, *feuille_i*, *feuille_mult*, *feuille_petri*).

lien_declenche



Lien de déclenchement ou gâchette.

Le lien *lien_declenche* relie un événement (porte ou feuille) à un autre événement. Il joue le rôle de la gâchette décrite au paragraphe 3.2.

lien_precede



Lien spécifiant une contrainte d'ordre de prise en compte entre deux *feuille_i*.

Il est possible de contraindre l'ordre dans lequel sont examinés les résultats des sollicitations de plusieurs *feuille_i* sollicitées en même temps, grâce à des liens *lien_precede*. Ceci permet de réduire la combinatoire des séquences, car suivant le résultat de la première sollicitation examinée, les suivantes peuvent être inhibées par le filtrage des événements pertinents ou éliminées par les critères de troncature de Figseq.

Le lien *lien_precede* relie une *feuille_i* à une autre *feuille_i* et remplit l'interface *precedent* de la *feuille_i* d'arrivée.

5.1.1 CARACTERISTIQUE CALCUL_SOLL

Cette constante est commune aux noeuds appartenant à la catégorie *BDMP_standard* et aux portes *porte_puis* et *porte_ou_approx* de la catégorie *complements* (Cf. § 5.2). Elle permet de spécifier comment l'effet *soll* est déterminé, en fonction de l'effet *soll* des parents de l'élément courant et (éventuellement) de l'effet *real* du point de départ d'une gâchette (lien *lien_declenche*) pointant sur l'élément courant.

Elle peut prendre les valeurs :

- *fn_amont_et_decl* : c'est la valeur par défaut, de loin la plus utilisée, correspondant au comportement décrit dans l'article théorique [1]. Cela permet à des sollicitations de se propager dans les sous-arbres tant qu'elles ne sont pas "arrêtées" par une gâchette dont le point de départ est un événement non réalisé.
- *egal_a_real_decl* : *soll* prend la même valeur que l'effet *real* du point de départ de la gâchette pointant sur l'événement courant.
- *contraire_real_decl* : *soll* prend la valeur contraire de l'effet *real* du point de départ de la gâchette pointant sur l'événement courant.
- *toujours_vrai* : la sollicitation est toujours propagée.
- *toujours_faux* : la sollicitation n'est jamais propagée.

5.1.2 CARACTERISTIQUE SOLL

Cet attribut est commun aux noeuds appartenant à la catégorie *BDMP_standard* et aux portes *porte_puis* et *porte_ou_approx* de la catégorie *complements* (Cf. § 5.2).

Au niveau d'une feuille, *soll* détermine un choix entre deux processus de Markov, l'un valable quand *soll* = VRAI, l'autre quand *soll* = FAUX. Lorsque *soll* change d'état, cela déclenche éventuellement des feuilles de type *feuille_i* ou certaines transitions instantanées de réseaux de Petri associés aux feuilles de type *feuille_petri*.

5.2 TYPES COMPLEMENTS

porte_ou_approx

porte_ou_approx Selon la valeur du booléen *agregation*, cette porte se comporte comme une porte OU classique ou bien comme une *feuille_f* unique, dont le taux de défaillance est la somme des taux des feuilles filles, et le taux de réparation est calculé à partir des taux de défaillance et de réparation des feuilles filles de façon que le composant agrégé ait la même indisponibilité asymptotique que l'ensemble des feuilles filles.

Cette porte n'accepte que des *feuilles_f* en tant que filles d'où la déclaration d'une interface particulière *aval_feuille* **non visible**. On doit la relier à ses filles par des liens *agrege*.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
equipe_rep	equipe_reparation	0 à infini	Oui	Si cette interface est laissée vide, cela revient à supposer que la feuille possède son propre réparateur ; elle est donc réparée indépendamment du reste du système. Si elle contient une ou plusieurs équipes de réparation, cela signifie qu'il faut un réparateur de chacune des équipes citées pour effectuer la réparation. Les réparateurs sont rendus à leurs équipes respectives en fin de réparation.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut soll (Cf. § 5.1.1).
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
priorite_rep	Entier	1	Oui	Indicateur permettant de spécifier un ordre d'attribution des réparateurs dans les situations où il faut faire un choix entre plusieurs feuilles en panne (par exemple lorsque des réparateurs sont libérés à la fin d'une réparation). On commence par réparer les feuilles dont *priorite_rep* est le plus faible.
agregation	Booléen	VRAI	Oui	
lambda_ag	Réel	SOMME POUR_TOUT x UN aval_feuille DES_TERMES lambda DE x	Non	Somme des lambda de toutes les feuilles situées en aval de la porte *porte_ou_approx*. *aval_feuille* est une interface non visible de GENRE feuille_f de CARDINAL 1 JUSQUA INFINI
mu_ag	Réel	lambda_ag / (SOMME POUR_TOUT x UN aval_feuille DES_TERMES (lambda DE x / mu DE x))	Non	*lambda_ag*/(somme des rapports lambda/mu de toutes les feuilles situées en aval de la porte *porte_ou_approx*). *aval_feuille* est une interface non visible de GENRE feuille_f de CARDINAL 1 JUSQUA INFINI

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
attente_rep	Booléen	FAUX	Oui	Indicateur du fait que la feuille est en attente d'un réparateur. N'est significatif que si la panne *deff_ag* est à VRAI.
Panne				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
deff_ag	Oui	défaillance en fonctionnement agrégée		
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, le sous-arbre sous l'événement courant est défaillant. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 10 : Récapitulatif des caractéristiques du type *porte_ou_approx*

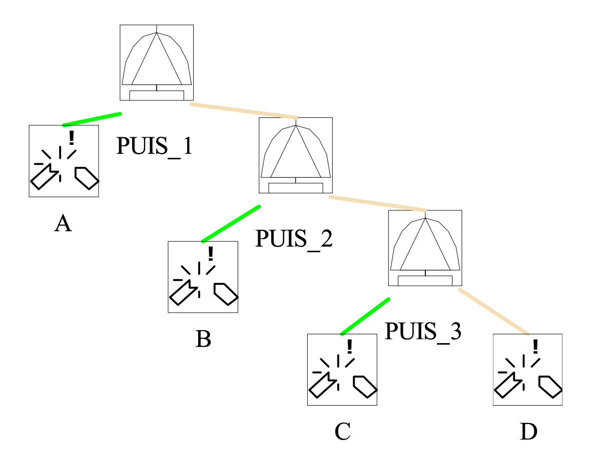
porte_puis



La *porte_puis* est une porte ET à 2 entrées qui ne passe à VRAI que lorsque l'événement correspondant au sous-arbre relié à sa branche *ensuite* passe à VRAI alors qu'est déjà VRAI l'événement correspondant au sous-arbre relié à sa branche *d_abord*.
La constante *front_descendant* sert à spécifier au moment de quelle "réparation" (c'est à dire en fait passage de VRAI à FAUX de l'effet *real* d'un des fils de la porte) l'effet *real* de la *porte_puis* repasse à FAUX. Plusieurs cas sont possibles :

- *rep_d_abord* : réparation du fils relié par le lien *d_abord*
- *rep_ensuite* : réparation du fils relié par le lien *ensuite*
- *rep_quelconque* : réparation de l'un quelconque des deux fils
- *rep_tout* : réparation du dernier des deux fils

Il est possible de mettre plusieurs *porte_puis* en cascade de façon à créer un événement qui ne passe à VRAI que lorsqu'une séquence précise de plusieurs événements se réalise. Par exemple, pour la séquence (A, B, C, D), on pourra utiliser la structure suivante, en prenant garde au fait que le comportement de cet ensemble est pour le moins complexe dès lors que des réparations sont possibles.



Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
d_abord	evenement	1	Non	Le genre de cette interface est du type evenement, ce peut être l'un quelconque des types : feuille_f, feuille_af, feuille_i, feuille_petri, feuille_mult, porte_ou_approx, porte_puis, porte_k_sur_n, porte_et, porte_ou Cette interface est remplie automatiquement par le lien *lien_d_abord*
ensuite	evenement	1	Non	Le genre de cette interface est du type evenement, ce peut être l'un quelconque des types : feuille_f, feuille_af, feuille_i, feuille_petri, feuille_mult, porte_ou_approx, porte_puis, porte_k_sur_n, porte_et, porte_ou Cette interface est remplie automatiquement par le lien *lien_ensuite*
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
calcul_soll	fn_amont_et_decl egal_a_real_decl contraire_real_decl toujours_vrai toujours_faux	fn_amont_et_decl	Oui	Cette constante détermine la façon dont est calculé l'attribut *soll* (Cf. § 5.1.1).
forcer_evt_pertinent	Booléen	FAUX	Oui	Cette constante permet d'affiner le filtrage des événements pertinents lorsque la constante globale *filtrer_evts_pertinents* est à VRAI. En mettant *forcer_evt_pertinent* (équivalent de la constante Ci dans la référence [1]) à VRAI, on n'inhibe pas localement les défaillances.
front_descendant	rep_d_abord rep_ensuite rep_quelconque rep_tout	rep_quelconque	Oui	Cette constante sert à spécifier après quelle réparation l'effet *real* de la *porte_puis* repasse à FAUX.

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
soll	Booléen	VRAI	Non	Indicateur de sollicitation (Cf. § 5.1.1). C'est l'équivalent de la variable Xi de [1].
EFFET				
Nom	*Modifiable*	*Description*		
real	Non	Si cet effet est VRAI, l'événement correspondant à la porte est réalisé. C'est l'équivalent de la variable Si de [1].		
evt_pertinent	Non	Si cet effet est VRAI, cela signifie intuitivement qu'une défaillance se produisant dans le sous arbre dont l'événement courant est le sommet peut effectivement rapprocher le système de la panne. C'est l'équivalent de l'indicateur des événements pertinents Yi de [1].		

Tableau 11 : Récapitulatif des caractéristiques du type *porte_puis*

equipe_reparation

equipe_reparation Ce type d'objet sert à modéliser une "réserve" de réparateurs, dans laquelle on viendra puiser pour pouvoir réparer les défaillances modélisées par des feuilles de types *feuille_f*, *feuille_af*, *feuille_i* ou encore *porte_ou_approx*.

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
nb_reparateurs_dispo	Entier	1	Oui	*nb_reparateurs_dispo* représente le nombre de réparateurs disponibles à un instant donné. Si des feuilles sont supposées en panne dans l'état initial, en fonction de la valeur donnée à leur attribut *attente_rep*, cela indique que des réparateurs supplémentaires sont occupés à la réparation de ces défaillances dans l'état initial.

Tableau 12 : Récapitulatif des caractéristiques du type *equipe_reparation*

agrege

agrege Lien spécifique

Le lien *agrege* relie une *porte_ou_approx* à une *feuille_f*.

lien_d'abord

lien_d_abord Lien spécifique

Le lien *lien_d_abord* relie une *porte_puis* à un événement de type porte (*porte_k_sur_n*, *porte_et*, *porte_ou, porte_ou_approx, porte_puis*) ou feuille (*feuille_af, feuille_f*, *feuille_i*, *feuille_mult*, *feuille_petri*). Il remplit automatiquement l'interface *d_abord* de la *porte_puis*.

lien_ensuite

lien_ensuite Lien spécifique

Le lien *ensuite* relie une *porte_puis* à un événement de type porte (*porte_k_sur_n*, *porte_et*,

porte_ou, porte_ou_approx, porte_puis) ou feuille (*feuille_af, feuille_f, feuille_i, feuille_mult, feuille_petri*). Il remplit automatiquement l'interface *ensuite* de la *porte_puis*.

5.3 TYPES PETRI

transition_exp

transition_exp   Transition exponentielle

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
test_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à VRAI (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
test_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à FAUX (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
mis_a_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à VRAI lors du tir de la transition.
mis_a_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à FAUX lors du tir de la transition.
feuille	feuille_petri	1	Oui	Cette interface doit contenir la *feuille_petri* dont le mode (sollicité ou non suivant la valeur de la constante *autorisee*) permet de conditionner éventuellement le tir de la transition (en plus des conditions classiques).
pl	place	0 à 1	Oui	Si cette interface est vide, le taux de la transition est lambda. Si elle contient une place P, le taux de la transition est égal à lambda*marq(P).
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
autorisee	si_feuille_soll si_feuille_non_soll toujours	si_feuille_soll	Oui	Cette constante définit le mode de sollicitation de la feuille de Petri qui conditionne le déclenchement de la transition.

lambda	Réel	0.001	Oui	Taux (par unité de temps) de la transition. C'est le paramètre de la loi exponentielle du temps au bout duquel la transition est tirée, lorsque ses conditions sont réalisées.

Tableau 13 : Récapitulatif des caractéristiques du type *transition_exp*

transition_exclusive

transition_exclusive

Cette transition sert à modéliser un branchement instantané entre deux évolutions possibles.

Lors de son tir, elle crée des jetons dans la place située en arrivée de l'arc *mauvais_aval* avec la probabilité gamma, et dans la place située en arrivée de l'arc *aval* avec la probabilité 1 - gamma.

Elle est déclenchable en fonction des conditions habituelles pour une transition de réseau de Petri, et éventuellement uniquement lors de changements de mode (on choisit cette option grâce à la constante *quand_declencher*).

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
test_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à VRAI (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
test_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à FAUX (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
mis_a_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à VRAI lors du tir de la transition vers la place aval.
mis_a_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à FAUX lors du tir de la transition vers la place aval.
feuille	feuille_petri	1	Oui	Cette interface doit contenir la *feuille_petri* dont le changement de mode (à préciser par la valeur de la constante *quand_declencher*) permet de conditionner éventuellement le tir de la transition (en plus des conditions classiques).
mis_a_vrai_si_mauvais	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à VRAI lors du tir de la transition vers la place mauvais_aval.

mis_a_faux_si_mau vais	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à FAUX lors du tir de la transition vers la place mauvais_aval.
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
quand_declencher	non_soll_vers_soll soll_vers_non_soll toujours	non_soll_vers_soll	Oui	Cette constante définit le changement de mode de sollicitation de la feuille de Petri qui permet de déclencher la transition. Si la valeur choisie est *toujours*, cette transition est déclenchable dès que les conditions habituelles sont réalisées.
gamma	Réel	0.001	Oui	Probabilité de tir de la transition vers *mauvais_aval*.

Tableau 14 : Récapitulatif des caractéristiques du type *transition_exclusive*

transition_vidange

transition_vidange

Cette transition instantanée vide tous les jetons des places amont, puis crée les jetons dans les places aval de la façon habituelle.
Il faut au maximum une *transition_vidange* par *feuille_petri*, sinon on a des risques d'incohérences dans le comportement du modèle, ce qui déclenche un warning dans le logiciel FigSeq.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
test_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à VRAI (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
test_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à FAUX (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
mis_a_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à VRAI lors du tir de la transition.
mis_a_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à FAUX lors du tir de la transition.
feuille	feuille_petri	1	Oui	Cette interface doit contenir la *feuille_petri* dont le changement de mode (à préciser par la valeur de la constante *quand_declencher*) permet de conditionner éventuellement le tir de la transition (en plus des conditions classiques).

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
quand_declencher	non_soll_vers_soll soll_vers_non_soll toujours	non_soll_vers_soll	Oui	Cette constante définit le changement de mode de sollicitation de la feuille de Petri qui permet de déclencher la transition. Si la valeur choisie est *toujours*, cette transition est déclenchable dès que les conditions habituelles sont réalisées.

Tableau 15 : Récapitulatif des caractéristiques du type *transition_vidange*

transition_instantanee

transition_instantanee Transition instantanée

Remarque :

Il est impossible de conditionner le tir de cette transition par l'état sollicité ou non de la feuille. En effet, on aurait alors des bouclages entre déclenchements de transitions instantanées qui changeraient les sollicitations qui déclencheraient des transitions instantanées...

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
test_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à VRAI (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
test_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages (message, message_et, message_ou, test_place) qui doivent être à FAUX (en plus des conditions classiques sur les marquages des places amont) pour que la transition puisse être tirée.
mis_a_vrai	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à VRAI lors du tir de la transition.
mis_a_faux	message	0 à infini	Oui	Cette interface sert à déclarer la liste des messages qui seront mis à FAUX lors du tir de la transition.

Tableau 16 : Récapitulatif des caractéristiques du type *transition_instantanee*

message

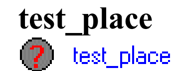


Information booléenne contenue dans l'attribut *valeur*. Les messages peuvent servir à conditionner des tirs de transition, et leur valeur peut être modifiée lors de ces tirs (cf. les descriptions des transitions).

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
valeur	booléen	FAUX	Oui	

Tableau 17 : Récapitulatif des caractéristiques du type *message*

test_place



Test booléen sur la valeur du marquage d'une place désignée à l'aide d'un *lien_place_test*.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
place_testee	place	1	Non	
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
marq_min	Entier	0	Oui	
marq_max	Entier	0	Oui	
type_test	Vrai_si_hors_bornes Vrai_si_dans_bornes	Vrai_si_hors_bornes	Oui	**Le remplissage de cette constante est obligatoire**
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
valeur	booléen	FAUX	Oui	*valeur* vaut VRAI dans les cas suivants (et FAUX dans tout autre cas) : • type_test = 'Vrai_si_dans_bornes' ET marq DE place_testee >= marq_min ET marq DE place_testee <= marq_max • type_test = 'Vrai_si_hors_bornes' ET (marq DE place_testee < marq_min OU marq DE place_testee > marq_max)

Tableau 18 : Récapitulatif des caractéristiques du type *test_place*

message_et



message_et prend la *valeur* VRAI si tous ses messages en entrée contenus dans l'interface *event* ont la *valeur* VRAI

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
event	message	0 à infini	Non	Cette interface doit contenir des messages (message, message_et, message_ou, test_place) appartenant à un réseau de Petri.

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
valeur	booléen	FAUX	Oui	

Tableau 19 : Récapitulatif des caractéristiques du type *message_et*

message_ou

message_ou

message_ou prend la *valeur* VRAI si l'un au moins de ses messages en entrée contenus dans l'interface *event* a la *valeur* VRAI

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
event	message	0 à infini	Non	Cette interface doit contenir des messages (message, message_et, message_ou, test_place) appartenant à un réseau de Petri.
Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
valeur	booléen	FAUX	Oui	

Tableau 20 : Récapitulatif des caractéristiques du type *message_ou*

place

place

Place d'un réseau de Petri.

Attribut				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
marq	Entier	0	Oui	Marquage (= nombre de "jetons") de la place.

Tableau 21 : Récapitulatif des caractéristiques du type *place*

arc_amont

arc_amont

Lien spécifique

Le lien *arc_amont* relie une *place* à une transition (*transition_instantanee*, *transition_exponentielle*, *transition_vidange*, *transition_exclusive*). Il remplit automatiquement ses interfaces *depart* et *arrivee*.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
depart	place	1	Non	
arrivee	transition	1	Non	Le genre de cette interface est du type transition, ce peut être l'un quelconque des types : transition_instantanee, transition_exponentielle, transition_vidange, transition_exclusive

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
poids	Entier	1	Oui	Marquage minimal de la place autorisant le tir de la transition *arrivee*. Le poids est enlevé du marquage de la place *depart* lors du déclenchement de la transition.

Tableau 22 : Récapitulatif des caractéristiques du type *arc_amont*

arc_aval

arc_aval Lien spécifique

Le lien *arc_aval* relie une transition (*transition_instantanee*, *transition_exponentielle*, *transition_vidange*, *transition_exclusive*) à une *place*. Il remplit automatiquement ses interfaces *depart* et *arrivee*.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
depart	transition	1	Non	Le genre de cette interface est du type transition, ce peut être l'un quelconque des types : transition_instantanee, transition_exponentielle, transition_vidange, transition_exclusive
arrivee	place	1	Non	
Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
poids	Entier	1	Oui	Quantité ajoutée au marquage de la place *arrivee* lors du déclenchement de la transition.

Tableau 23 : Récapitulatif des caractéristiques du type *arc_amont*

arc_inhibiteur

arc_inhibiteur Lien spécifique permettant d'inhiber une transition

Le lien *arc_inhibiteur* relie une *place* à une transition (*transition_instantanee*, *transition_exponentielle*, *transition_vidange*, *transition_exclusive*). Il remplit automatiquement ses interfaces *depart* et *arrivee*.

Interface				
Nom	*GENRE*	*CARDINALITE*	*Modifiable*	*Description*
depart	place	1	Non	
arrivee	transition	1	Non	Le genre de cette interface est du type transition, ce peut être l'un quelconque des types : transition_instantanee, transition_exponentielle, transition_vidange, transition_exclusive

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
poids	Entier	1	Oui	La transition *arrivee* est inhibée si le marquage de la place est supérieur ou égal au poids.

Tableau 24 : Récapitulatif des caractéristiques du type *arc_inhibiteur*

lien_place_test

lien_place_test Lien spécifique

Le lien *lien_place_test* relie une *place* à un *test_place*. Il remplit automatiquement l'interface *place_testee* de *test_place*.

lien_logique_petri

lien_logique_petri Lien spécifique

Le lien *lien_logique_petri* relie un message de type *message_et* et *message_ou* à un message de type *message_et*, *message_ou, test_place* ou *message*. Il remplit automatiquement les interfaces *event* des messages de départ (*message_et* et *message_ou*).

5.4 TYPE GLOBAL_TYPE

Ce type a toujours un représentant et un seul dans un modèle : l'objet **OPTIONS. Cet objet, déclaré dans la base de connaissances, n'a pas à être créé par l'utilisateur. Il n'a pas de réprésentation graphique.** Il contient les paramètres de gestion globale du système.
(N.B. avec KB3 V2, on accède à ces paramètres par le bouton "paramètres système…" de la palette graphique).

Constante				
Nom	*Domaine de définition*	*Valeur par défaut*	*Modifiable*	*Description*
systeme_reparable	Booléen	VRAI	Oui	Si cette constante est à VRAI, tous les composants sont réparables (à condition d'avoir un mu non nul). Si elle est à FAUX, aucun composant n'est réparable.
filtrer_evts_pertinents	Booléen	VRAI	Oui	En mettant cette constante à VRAI, on diminue la combinatoire dans l'exploration des séquences et on obtient des séquences plus pertinentes. Dès qu'un des fils d'une porte OU est à VRAI, les défaillances des autres fils (et descendants) ne sont plus pertinentes, elles sont inhibées. On évite ainsi de nombreuses séquences contenant des événements qui "ne servent à rien" car ils agissent sur des parties de système déjà perdues. Par exemple, le filtrage des événements pertinents permet d'inhiber des modes de défaillance supplémentaires d'un composant déjà défaillant, ce qui est souvent plus réaliste que de continuer à les autoriser (cas des modes de défaillance mutuellement exclusifs, d'un composant qui ne peut défaillir que s'il est alimenté...). Toutefois, on a la possibilité de forcer localement le déclenchement de certaines défaillances, grâce à la constante *forcer_evt_pertinent*, disponible au niveau de chaque porte ou feuille.

Tableau 25 : Récapitulatif des caractéristiques de l'objet OPTIONS

6. REALISER DES TRAITEMENTS

Nous rappelons succinctement que sur une étude réalisée avec la BdC BDMP, KB3 pourra réaliser deux types de traitement :

- ◊ des **simulations interactives** résultant de l'application de transitions choisies successivement par l'utilisateur,
- ◊ des **créations de fichiers en langage Figaro0 correspondant à une instanciation des règles de la BdC pour l'étude** en vue d'une recherche systématique de séquences amenant à un état de panne par FigSeq.

Nous présentons, dans la suite de ce chapitre, ces différents types de traitement sur un exemple de complexité moyenne.

6.1 EFFECTUER UNE SIMULATION

KB3 propose à l'utilisateur de simuler de manière interactive des scénarios sur l'arbre BDMP saisi dans l'éditeur d'étude. Certains résultats de la simulation peuvent être visualisés sur le schéma de l'arbre (Cf. § 6.1.3) par des changements de couleur ou des textes associés aux

objets graphiques. Dans tous les cas, les changements de valeur des caractéristiques résultant de la simulation sont visibles dans la configuration courante des éditeurs d'objet.

6.1.1 CREER UN MODELE DE SIMULATION

On rappelle que le **modèle d'une simulation** regroupe un ensemble de paramètres participant à la spécification de la simulation (Cf. [3])[1] :

- la configuration du système définie à partir d'un profil et d'une ou plusieurs variantes,
- le groupe de règles **V3_groupe_simu** figé par la BdC BDMP,
- le ou les événements indésirables : l'utilisation courante de la base BDMP ne nécessite pas l'utilisation d'événements indésirables,
- les paramètres de la simulation :
    - ◊ nombre de tours dans les règles correspondant au nombre maximal de fois où les règles seront appliquées : par défaut, cette valeur est fixée à **200** par la base BDMP ; elle peut être modifiée par l'utilisateur.
    - ◊ prise en compte des pannes : par défaut, ce paramètre est mis à **Yes**.

Avant de pouvoir lancer une simulation, un certain niveau de complétude doit être atteint dans la description de l'étude. A minima, il faut que la "topologie" du BDMP soit complète et cohérente et que les différents liens soient tracés. L'utilisation de profils spécifiques ou de variantes est quant à elle facultative. KB3 propose un profil par défaut et interdit à l'utilisateur la possibilité de supprimer tous les profils.

[1] Le paragraphe 6.1 est relatif à KB3 V3. Pour KB3 v2, les fenêtres se présentent un peu différemment, mais les concepts sont exactement les mêmes.

L'IHM de lancement de la simulation[1] se présente donc sous la forme usuelle suivante :

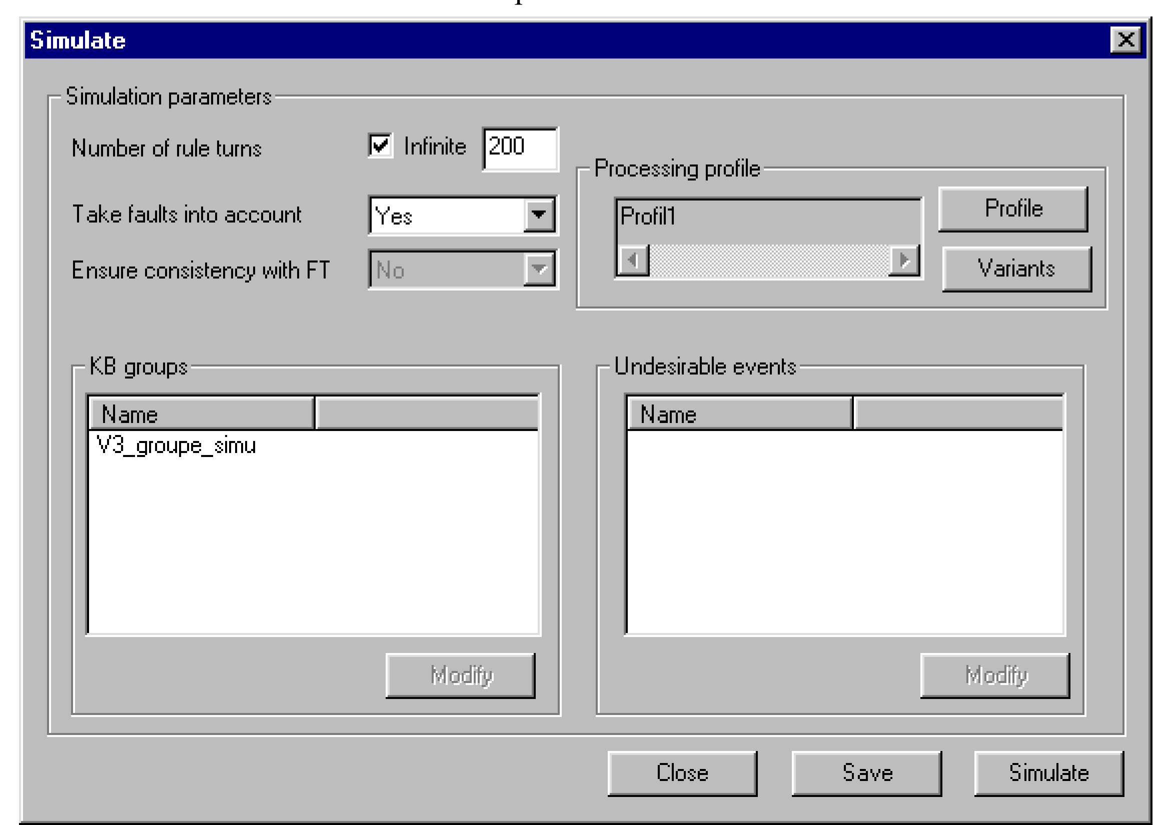


Figure 6 : IHM de lancement d'une simulation

6.1.2 EXECUTER UNE SIMULATION

Nous proposons de suivre une simulation sur l'exemple suivant de BDMP (Cf. Figure 7), qui permet de modéliser le système décrit en annexe 1.

---

[1] Rappelons que l'IHM de lancement de la simulation est accessible dans une étude, soit en choisissant la commande *Simulate* du menu *Tools*, soit en double-cliquant sur l'icône Sim *Modele de_simulation* dans le répertoire *Simulation* de l'onglet *Processing*.

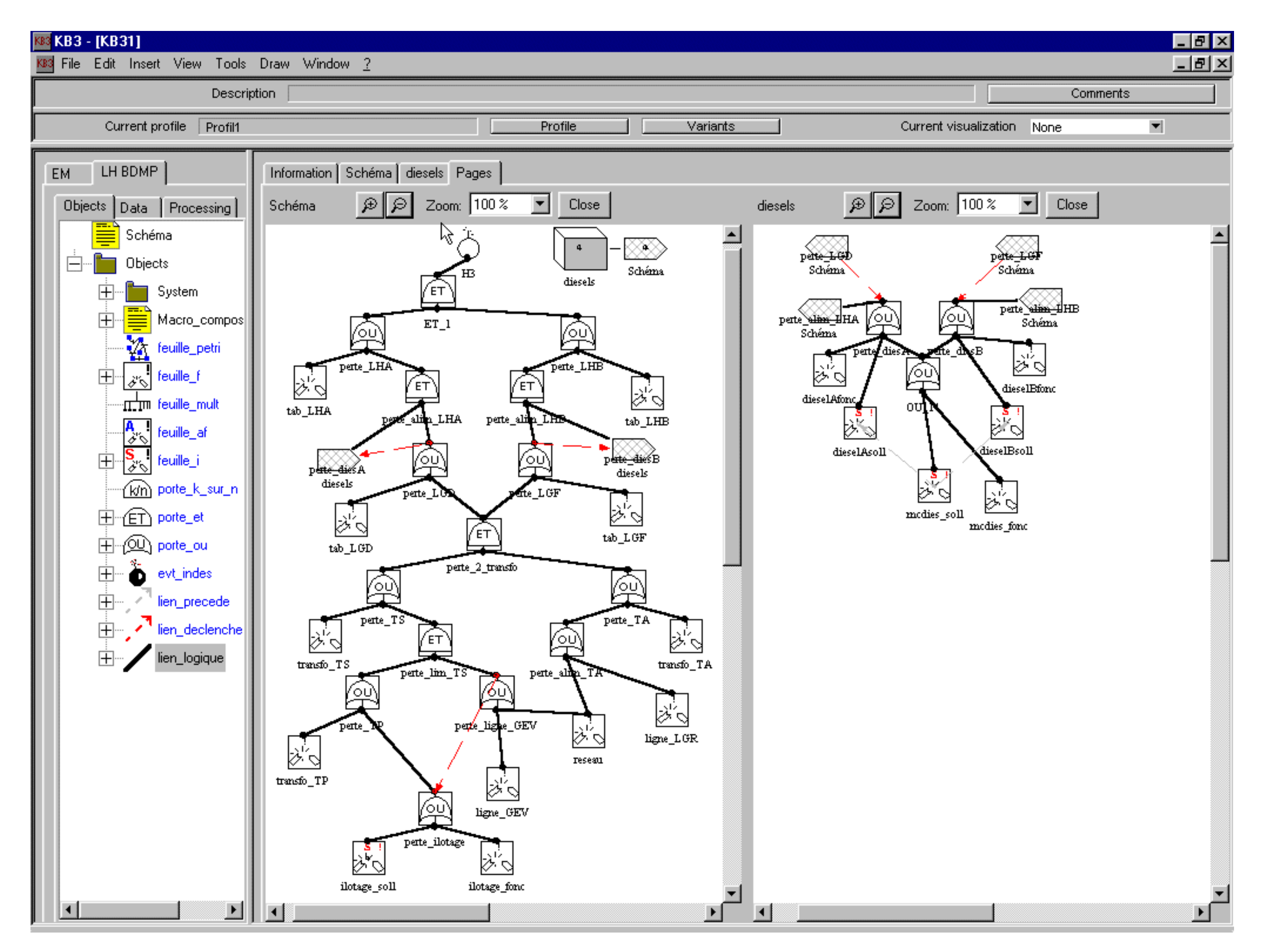


Figure 7 : Description d'un exemple de BDMP construit sur les deux pages « Schéma » et « diesels »

Le bouton *Simulate* de l'IHM décrite au paragraphe précédent lance la simulation et ouvre l'IHM du simulateur (Cf. Figure 8) qui propose la liste des transitions possibles pour le BDMP décrit par la Figure 7.

Sélectionnons et appliquons la transition correspondant à la défaillance du réseau en cliquant sur le bouton *Apply*, KB3 applique la transition et l'ajoute à la pile des transitions passées. Les nouvelles transitions possibles proposées par KB3 sont celles de la Figure 9. Nous tirons alors la transition correspondant à la défaillance ilotage_soll (Cf. Figure 10) suivie de la transition instantanée bon de mcdies_soll (Cf. Figure 11), ce qui correspond au fait qu'il n'y a pas de défaillance de cause commune des diesels au démarrage. Nous tirons ensuite simultanément[1] les deux transitions instantanées correspondant au bon démarrage des diesels A et B (Cf. Figure 12) et enfin la transition correspondant à la défaillance mcdies_fonc (Cf. Figure 13). Les seules transitions possibles restantes correspondent alors à des réparations, nous venons de balayer une séquence complète menant à la réalisation de l'événement indésirable H3.

[1] On sélectionne deux transitions en maintenant enfoncée la touche *Ctrl* du clavier tout en sélectionnant les transitions souhaitées dans la zone *Possible transitions* de l'IHM du simulateur.

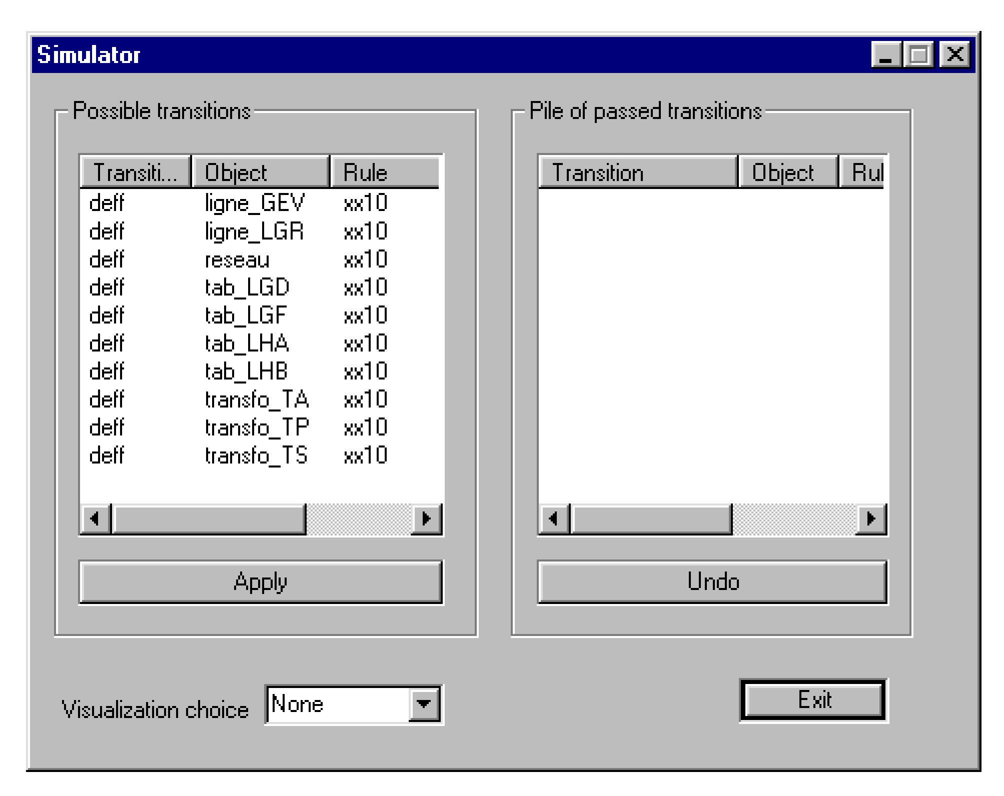


Figure 8 : Liste initiale des transitions

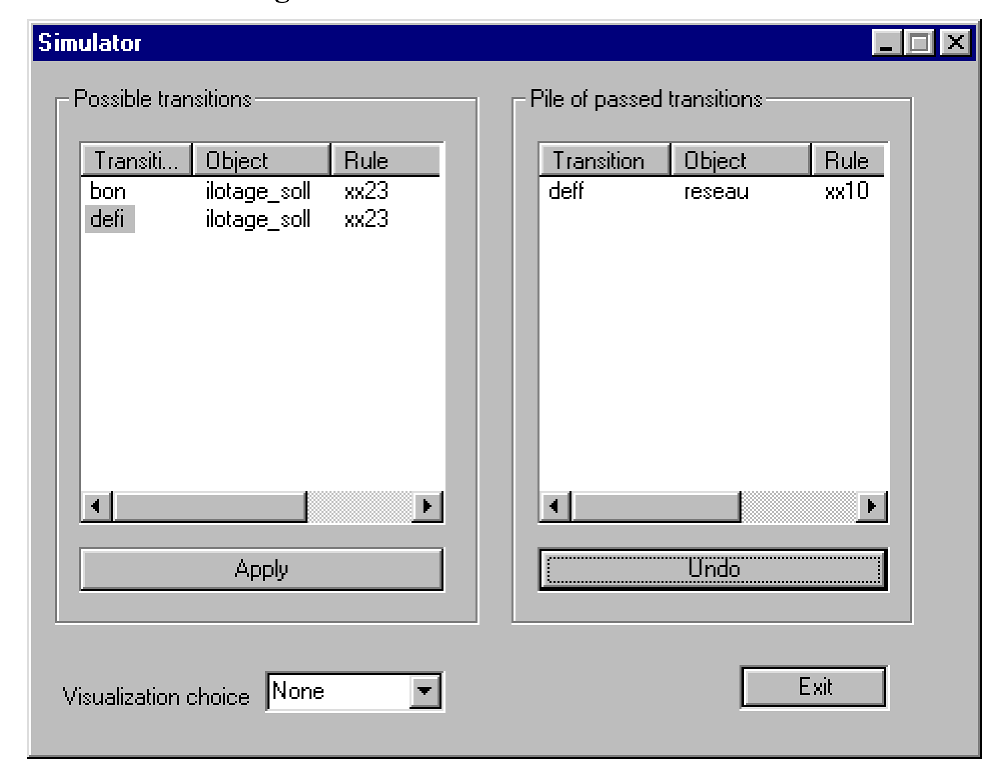


Figure 9 : Liste des transitions possibles après le tir de la première transition

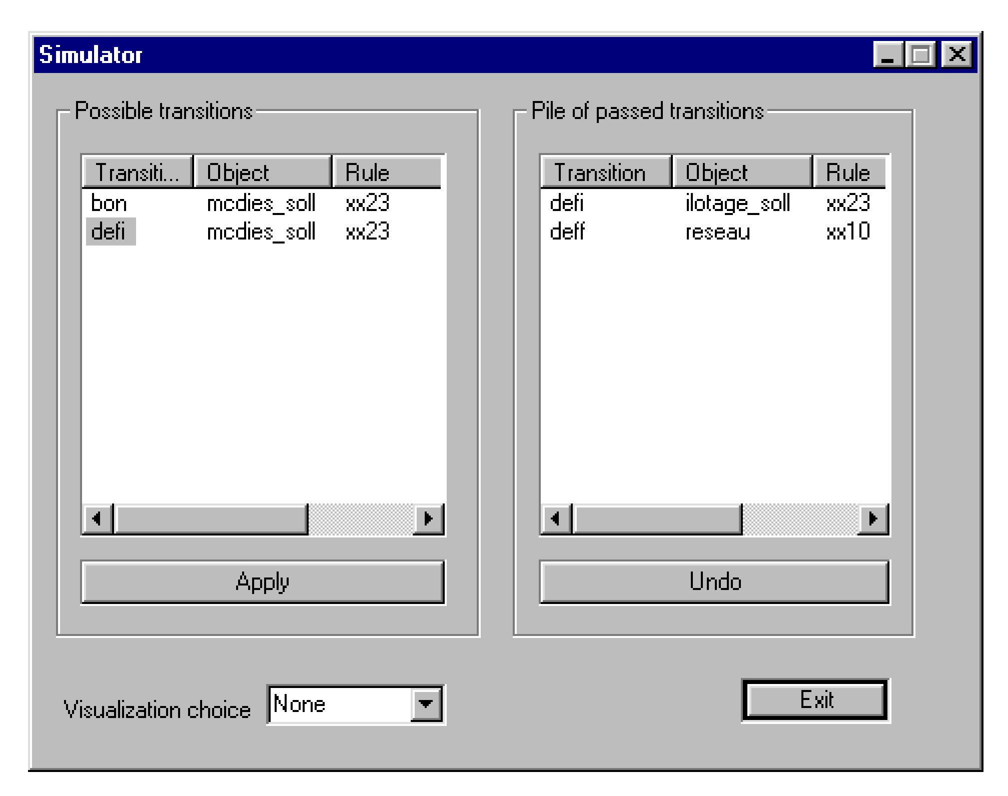


Figure 10 : Liste des transitions possibles après le tir de la seconde transition

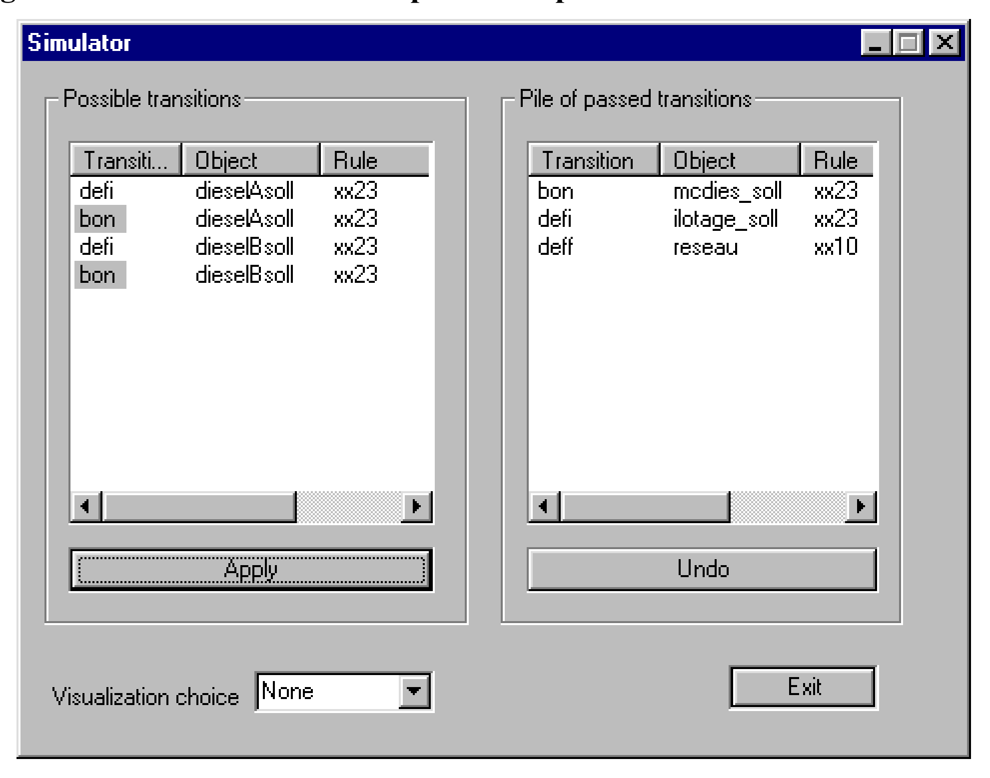


Figure 11 : Liste des transitions possibles après le tir de la troisième transition

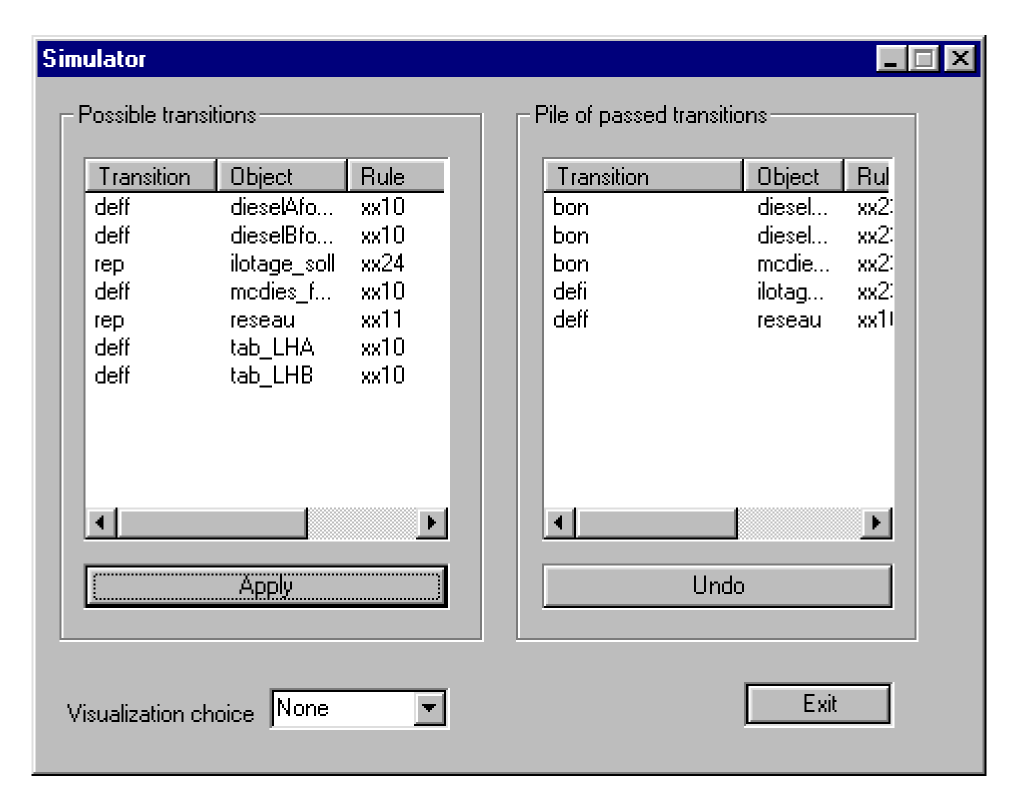


Figure 12 : Liste des transitions possibles après le tir du quatrième groupe de transitions

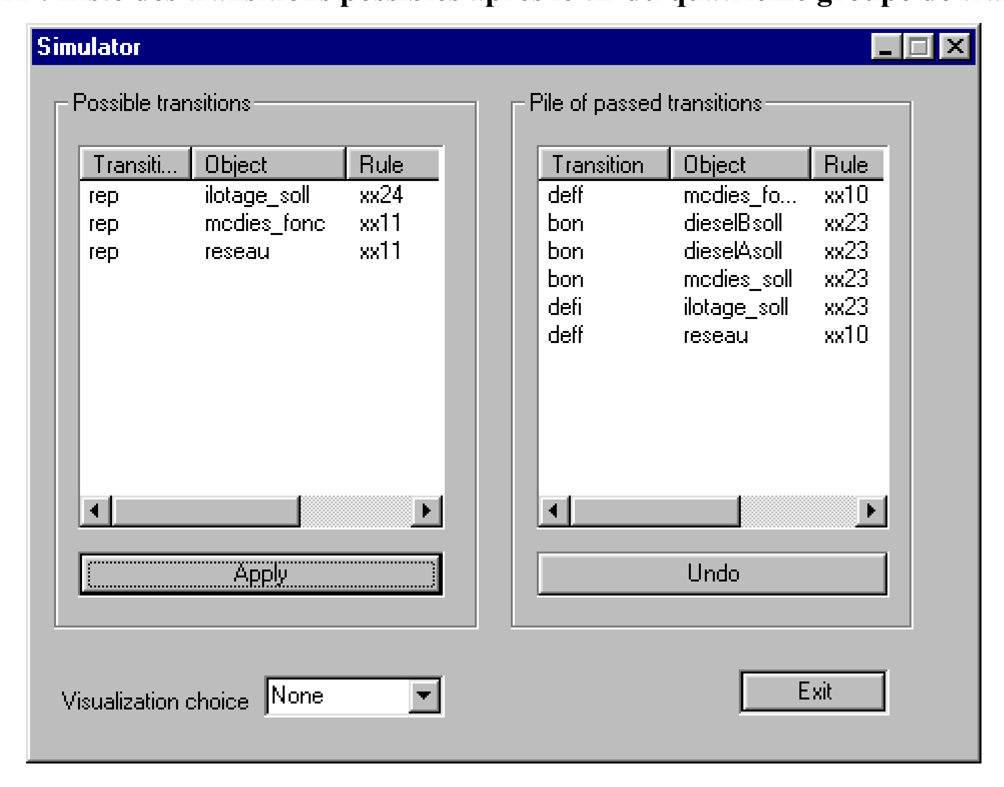


Figure 13 : Liste des transitions possibles après le tir de la cinquième transition

Remarque :

Rappelons que le bouton *Undo* de l'IHM de simulation défait la dernière transition effectuée, avec mise à jour de la *Pile of passed transitions* et de la liste des *Possible transitions*. L'utilisateur a donc toujours la possibilité de revenir aux étapes antérieures d'une simulation.

6.1.3 VISUALISER LES RESULTATS DE LA SIMULATION SUR LE SCHEMA DE L'ARBRE BDMP

Le champ *Visualization choice* de l'IHM de simulation propose les modes de visualisation d'informations sur le schéma de l'arbre prévus par la base BDMP[1] :

- *Déf. et evts pertinents* :
  - ◊ le texte « **Non pertinent** » s'affiche à côté de l'icône de chaque porte, feuille ou événement indésirable dont l'effet *evt_pertinent* prend la valeur FAUX.
  - ◊ chaque porte, feuille ou événement indésirable dont l'effet *real* prend la valeur VRAI s'affiche en **rouge** sur le schéma de l'arbre.
  - ◊ le texte « **pas de reparateur !** » s'affiche à côté de l'icône devenant **rouge** de chaque équipe de réparation si la constante *nb_reparateurs_dispo* prend la valeur nulle.
  - ◊ chaque message dont l'attribut *valeur* prend la valeur VRAI s'affiche en **rouge** sur le schéma.
  - ◊ chaque place dont l'attribut *marq* prend la valeur nulle s'affiche en **gris** sur le schéma.
  - ◊ La **valeur de l'attribut *marq*** s'affiche à côté de l'icône de chaque place si la valeur de l'attribut marq est supérieure à 0.
- *Défaillances et soll* :
  - ◊ le texte « **Non soll** » s'affiche à côté de l'icône de chaque porte, feuille ou événement indésirable dont l'effet *soll* prend la valeur FAUX.
  - ◊ chaque porte, feuille ou événement indésirable dont l'effet *real* prend la valeur VRAI s'affiche en **rouge** sur le schéma de l'arbre.
  - ◊ le texte « **pas de reparateur !** » s'affiche à côté de l'icône devenant **rouge** de chaque équipe de réparation si la constante *nb_reparateurs_dispo* prend la valeur nulle.
  - ◊ chaque message dont l'attribut *valeur* prend la valeur VRAI s'affiche en **rouge** sur le schéma.
  - ◊ chaque place dont l'attribut *marq* prend la valeur nulle s'affiche en **gris** sur le schéma.
  - ◊ La **valeur de l'attribut *marq*** s'affiche à côté de l'icône de chaque place si la valeur de l'attribut *marq* est supérieure ou égale à 0.
- *Mode calcul soll* :
  - ◊ La **valeur de la constante *calcul_soll*** s'affiche à côté de l'icône de chaque porte, feuille ou événement indésirable.

6.2 GENERER UN FICHIER FIGARO 0

Ce type de traitement proposé par KB3 donne la possibilité de générer le fichier d'instanciation, écrit en langage FIGARO0, des règles de la BdC pour le BDMP de l'étude et sa configuration courante.

On rappelle que le **modèle d'instanciation** regroupe l'ensemble des paramètres participant à la spécification de l'instanciation (Cf. [3]) :

- la configuration du système définie à partir d'un profil et d'une ou plusieurs variantes,

[1] L'option *None* correspond à aucun mode de visualisation particulier, c'est le cas de la Figure 7.

- le groupe de règles **vide**,
- le ou les événements indésirables : l'utilisation courante de la base BDMP ne nécessite pas l'utilisation d'événements indésirables,
- les paramètres d'instanciation :
  - ◊ Le champ *Resolve constants* propose une liste déroulante avec les valeurs *Yes* et *No*. Si la valeur *Yes* est choisie, les expressions sur les constantes sont remplacées par leurs valeurs.
  - ◊ Le champ *Resolve attributes* propose également une liste déroulante avec les valeurs *Yes* et *No*. Si la valeur *Yes* est choisie, les expressions sur les attributs sont remplacées par leurs valeurs et celles sur les constantes sont aussi remplacées par leurs valeurs.
  - ◊ Le champ *Instantiate rules* peut prendre les valeurs *Yes* et *No*. Si la valeur *No* est choisie, les règles ne sont pas instanciées. Ceci permet à l'utilisateur d'avoir une première vision sur les variables et interfaces des objets du système indépendamment de l'instanciation des règles qui nuit à la lisibilité de cette première lecture du fichier instancié.

L'IHM de lancement de l'instanciation[1] se présente sous la forme usuelle suivante :

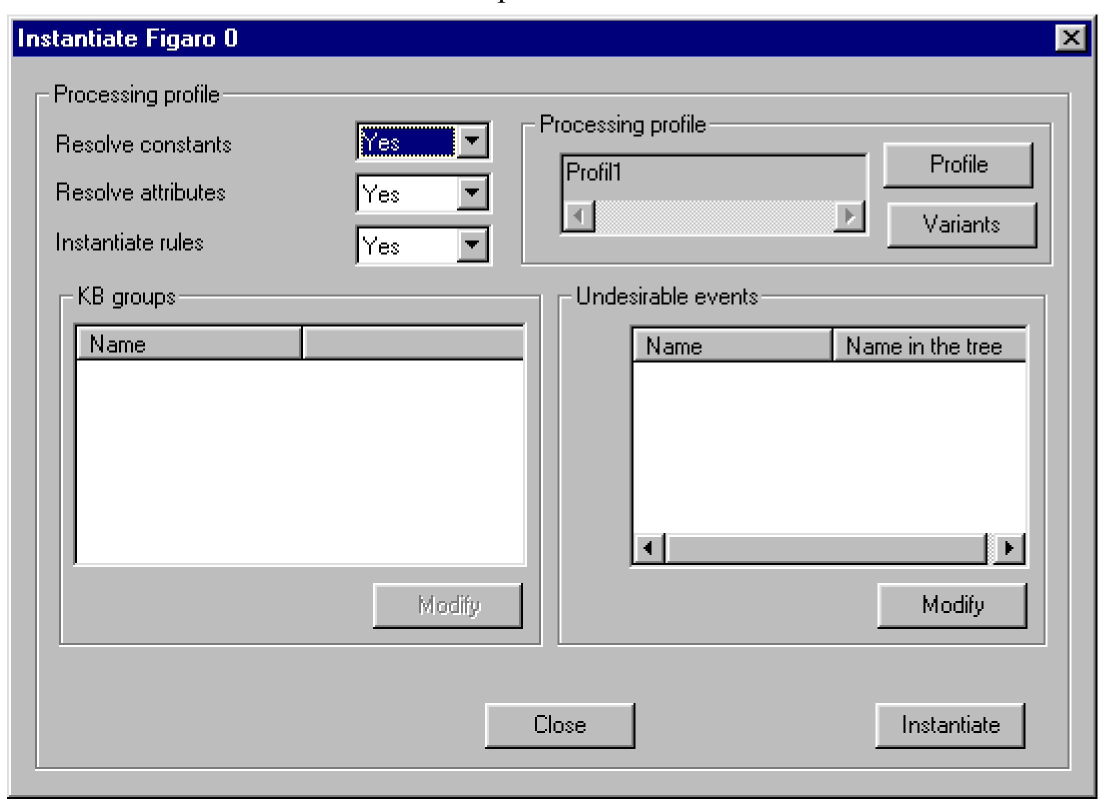


Figure 14 : IHM de lancement d'une instanciation

Le bouton *Instantiate* lance l'instanciation. Lorsque ce traitement est terminé, KB3 affiche le

[1] Rappelons que l'IHM de lancement de l'instanciation est accessible dans une étude, soit en choisissant la commande *Instantiate Figaro 0* du menu *Tools*, soit en double-cliquant sur l'icône *Model_instantiation_Figaro0* dans le répertoire *Instantiate Figaro 0* de l'onglet *Processing*.

fichier instancié dans un éditeur de texte.

6.3 GENERER DES SEQUENCES

Nous donnons ci-après un exemple des résultats obtenus par FigSeq à partir du fichier instancié sur l'exemple du BDMP de la Figure 7. La cible choisie est la réalisation de l'événement indésirable H3 (*real(H3)=VRAI*). Deux types de résultats sont présentés : les résultats pour la défiabilité et les résultats pour l'indisponibilité.

Pour la défiabilité, nous donnons successivement les résultats obtenus avec l'algorithme SN (séquences normales) et avec l'algorithme SRI (sans retour à l'état initial). Les résultats obtenus avec SN sont donnés à titre indicatif, car cet algorithme n'est pas bien adapté aux systèmes réparables tels que celui-ci, qui conduisent à une explosion combinatoire du nombre de séquences à explorer pour une précision satisfaisante (cf. le manuel utilisateur de Figseq pour plus de détails sur les domaines d'utilisation des deux algorithmes).

Type de calcul : exploration de sequences suivant l'algorithme SN, quantification par formules de Harrison
Temps de mission : 2000
Seuil de probabilite min : 1e-007
Seuil de branches max : Aucun
Seuil de transitions max : Aucun
Seuil de defaillances max : Aucun
Seuil de reparations max : Aucun

RESULTATS GLOBAUX DE l'ETUDE SN

Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	**Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)**	**Resultats fournis**	**Formules**
1.8069851e+001	1.6663180e+005	MTTF	somme des produits pb. asympt.* duree
1.0543770e-005	1.7417304e-005	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	somme des probas des sequences a TM

	Probas(TM)	**nb seq.**	**Cible n°**	**Expression booleenne :**
	1.0543770e-005	4	1	real(H3) = VRAI
	1.0543770e-005	**4**		

	Probas(TM)	**nb seq.**	**Etat absorbant**
	0.0000000e+000	0	

	Maj. erreur	**nb seq.**	**Valeur critere tronc.**	**Critere troncature**
	6.8735333e-006	9410	1e-007	probabilite min

	6.8735333e-006	**9410**		

Temps moyen de sejour dans l'etat initial = 1 / Linit 5.6179775e+004

Affichage des sequences en Fiabilite non limite.
Cible numero : 1
Types etats : Etat tangible EXP.
Expression booleenne : real(H3) = VRAI
Nombre de sequences : 4

Num Seq.	**Transitions**			**Proba TM**	**Duree Moy.**	**Contrib.**
	Nom	**Taux**	**Type**			
5545	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP	5.0171e-06	1.0810e+02	4.7583e-01
4429	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP	4.6229e-06	1.1736e+02	4.3844e-01
5451	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	4.7048e-07	2.2547e+02	4.4622e-02
4335	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_fonc] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	4.3338e-07	2.3472e+02	4.1103e-02

Type de calcul : exploration de sequences suivant l'algorithme SRI
Temps de mission : 2000
Seuil de probabilite min : 5e-008
Seuil de branches max : Aucun
Seuil de transitions max : Aucun
Seuil de defaillances max : Aucun

Seuil de reparations max : Aucun
Seuil de probabilite min pour le calcul de disponibilite : 5e-008
Tolerance temps sejour :0.01

RESULTATS GLOBAUX DE l'ETUDE SRI

Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	**Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)**	**Resultats fournis**	**Formules**
6.4702571e-009	7.1706034e-009	Lambda equivalent	Leq= 1/ MTTF = Linit * Epsilon
1.5455336e+008	1.3945828e+008	MTTF	MTTF = 1/Leq
1.4125005e+008	1.4125005e+008	MTTF indispo.	MTTF
1.2940431e-005	1.4341104e-005	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	
A = 3.5108188e-007	4.0993258e-007 =A + 6.9167085e-010 * M avec M = 85.084831	Indisponibilité asymptotique obtenue en prenant pour M le max. des tps moyens de panne rencontrés dans l'exploration	

Informations sur les séquences complètes	**Probas asympt. Epsilon_i**	**Taux equivalent Linit*Epsilon_i**	**Contribution seq ss boucle**	**nb seq.**	**Cible n°**	**Expression booleenne**
	3.6349759e-004	6.4702571e-009	9.3090030e-001	45	1	real(H3) = VRAI
Epsilon=	**3.6349759e-004**	**6.4702571e-009**	**9.3090030e-001**	**45**		

Informations sur les séquences tronquées	**Probas**	**Taux equivalent Linit*Epsilon_i**	**nb seq.**	**Valeur critere tronc.**	**Critere troncature**
	3.9345295e-005	7.0034625e-010	10284	5e-008	probabilite min
Epsilon=	**3.9345295e-005**	**7.0034625e-010**	**10284**		

Erreur numerique (valeur absolue) sur l'ensemble des sequences	2.5320864e-016
Temps moyen de sejour dans l'etat initial = 1 / Linit	5.6179775e+004
Estimation du taux d'occurrence des initiateurs = Linit	1.7800000e-005
Temps moyen de sejour cumule dans l'etat initial (Estimation)	1.3945828e+008

Affichage des sequences en Fiabilite non limite.

Affichage des etats de panne en Indisponibilite limite a 80%

Affichage des sequences par etats de panne en Indisponibilite limite a 80%

PARTIE 1 : RESULTATS DE FIABILITE

Cible numero : 1
Types etats : Etat tangible EXP.
Expression booleenne : real(H3) = VRAI
Nombre de sequences : 45

Num Seq.	Transitions			Proba Asympt.PA	Duree Moy. Après init	Contrib. en PA	Contrib. cumulee	Num etat. panne
	Nom	Taux	Type					
6270	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP	1.5151e-04	1.0810e+02	4.1682e-01	4.1682e-01	16
4758	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP	1.4028e-04	1.1736e+02	3.8592e-01	8.0274e-01	11
5992	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	1.5133e-05	2.2547e+02	4.1632e-02	8.4437e-01	11
9527	[deff DE transfo_TA] [deff DE transfo_TS] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 2.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS EXP	4.9160e-06	1.4325e+03	1.3524e-02	8.5790e-01	20
11054	[deff DE transfo_TS] [deff DE transfo_TA] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 2.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS EXP	4.9015e-06	1.4296e+03	1.3484e-02	8.7138e-01	20
6966	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [defi DE mcdies_soll]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-04	EXP INS INS	2.8090e-06	0.0000e+00	7.7277e-03	8.7911e-01	17
5330	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [defi DE mcdies_soll]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 1.0000e-04	EXP INS EXP INS	2.6008e-06	9.2588e+00	7.1549e-03	8.8627e-01	12
10694	[deff DE transfo_TS] [deff DE ligne_LGR] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll,	2.0000e-06 5.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01	EXP EXP INS INS	2.4563e-06	1.0752e+03	6.7575e-03	8.9302e-01	7

	bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	9.9900e-01 5.0000e-05	INS EXP					
8668	[deff DE transfo_TA] [deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 5.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS INS EXP	1.1319e-06	1.0709e+03	3.1138e-03	8.9614e-01	6
5621	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE dieselAfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.0395e-06	1.4241e+02	2.8598e-03	8.9900e-01	13
5412	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE dieselBfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.0395e-06	1.4241e+02	2.8598e-03	9.0186e-01	13
8165	[deff DE transfo_TA] [deff DE ligne_GEV] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS EXP INS INS INS EXP	1.0196e-06	1.0800e+03	2.8051e-03	9.0466e-01	3
4462	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE dieselBfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	9.6248e-07	1.5167e+02	2.6478e-03	9.0731e-01	8
4609	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE dieselAfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	9.6248e-07	1.5167e+02	2.6478e-03	9.0996e-01	8
2300	[deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [rep DE ligne_GEV] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-02 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP EXP INS INS INS EXP	6.7744e-07	1.1834e+03	1.8637e-03	9.1182e-01	4

234	[deff DE ligne_GEV] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [rep DE ligne_GEV] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 1.0000e-02 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP EXP EXP INS INS INS EXP	6.1578e-07	1.1925e+03	1.6940e-03	9.1351e-01	1
10771	[deff DE transfo_TS] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS EXP	5.9780e-07	1.0945e+03	1.6446e-03	9.1516e-01	23
9891	[deff DE transfo_TP] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS EXP	5.9662e-07	1.0925e+03	1.6413e-03	9.1680e-01	21
5741	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	5.1976e-07	1.4241e+02	1.4299e-03	9.1823e-01	15
5531	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	5.1976e-07	1.4241e+02	1.4299e-03	9.1966e-01	14
4667	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	4.8124e-07	1.5167e+02	1.3239e-03	9.2098e-01	10
4519	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	4.8124e-07	1.5167e+02	1.3239e-03	9.2231e-01	9
6242	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll,	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01	EXP INS INS INS	2.8057e-07	1.1736e+02	7.7185e-04	9.2308e-01	12

	bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [defi DE mcdies_soll]	9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 1.0000e-04	INS EXP EXP INS					
9123	[deff DE transfo_TA] [deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS INS EXP	2.7054e-07	1.0869e+03	7.4427e-04	9.2382e-01	19
4422	[deff DE ligne_LGR] [deff DE transfo_TS] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 2.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS EXP	2.4875e-07	1.8873e+02	6.8433e-04	9.2451e-01	7
8863	[deff DE transfo_TA] [deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS EXP INS INS INS EXP	2.4819e-07	1.0960e+03	6.8279e-04	9.2519e-01	18
3900	[deff DE ligne_LGR] [deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS INS EXP	1.6471e-07	1.4695e+02	4.5312e-04	9.2564e-01	5
2957	[deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [deff DE ligne_LGR] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-01 5.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP	1.4978e-07	1.3789e+02	4.1204e-04	9.2606e-01	5
6856	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, defi DE dieselBsoll] [rep DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.3895e-07	1.1727e+02	3.8226e-04	9.2644e-01	16
6668	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [defi DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE dieselAsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 1.0000e-03 9.9900e-01 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.3895e-07	1.1727e+02	3.8226e-04	9.2682e-01	16
3554	[deff DE ligne_LGR] [deff DE ligne_GEV]	5.0000e-06 5.0000e-06	EXP EXP	1.3725e-07	1.5528e+02	3.7758e-04	9.2720e-01	2

	[bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	INS EXP INS INS INS EXP					
752	[deff DE ligne_GEV] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [deff DE ligne_LGR] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 5.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP EXP INS INS INS EXP	1.3614e-07	1.4698e+02	3.7454e-04	9.2757e-01	2
6416	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE reseau] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 8.0000e-03 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	1.2872e-07	1.2007e+03	3.5412e-04	9.2793e-01	4
5110	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [defi DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE dieselAsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 1.0000e-03 9.9900e-01 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	1.2865e-07	1.2652e+02	3.5393e-04	9.2828e-01	11
5246	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, defi DE dieselBsoll] [rep DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	1.2865e-07	1.2652e+02	3.5393e-04	9.2863e-01	11
4895	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE reseau] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 8.0000e-03 1.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	1.1918e-07	1.2099e+03	3.2788e-04	9.2896e-01	1
3425	[deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll]	5.0000e-06 5.0000e-01	EXP INS	1.0392e-07	1.7247e+02	2.8590e-04	9.2925e-01	6

	[deff DE transfo_TA] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS EXP					
5911	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE dieselAfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP EXP	1.0383e-07	2.5977e+02	2.8564e-04	9.2953e-01	8
5832	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE dieselBfonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 1.0000e-04	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP EXP	1.0383e-07	2.5977e+02	2.8564e-04	9.2982e-01	8
1057	[deff DE ligne_GEV] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [deff DE transfo_TA] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 2.0000e-06 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP EXP INS INS INS EXP	9.4466e-08	1.8156e+02	2.5988e-04	9.3008e-01	3
8480	[deff DE transfo_TA] [deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	2.0000e-06 5.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP	8.3059e-08	1.1616e+03	2.2850e-04	9.3031e-01	3
1581	[deff DE ligne_GEV] [defi DE ilotage_soll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [rep DE ligne_GEV] [deff DE reseau] [bon DE mcdies_soll]	5.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 1.0000e-02 1.0000e-06 9.9990e-01	EXP INS EXP EXP EXP EXP INS	5.5935e-08	1.2833e+03	1.5388e-04	9.3046e-01	1

	[bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	INS INS EXP					
10740	[deff DE transfo_TS] [deff DE ligne_LGR] [defi DE mcdies_soll]	2.0000e-06 5.0000e-06 1.0000e-04	EXP EXP INS	5.5415e-08	9.8639e+02	1.5245e-04	9.3061e-01	22
5879	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselAfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP EXP	5.1915e-08	2.5977e+02	1.4282e-04	9.3076e-01	9
5959	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE dieselBfonc] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-04 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP EXP	5.1915e-08	2.5977e+02	1.4282e-04	9.3090e-01	10

Etat Absorbant

Aucune sequence menant a un etat absorbant et ne verifant aucun etat cible n'a ete trouvee.

PARTIE 2 : RESULTATS DE DISPONIBILITE

Cible numero : 1
Types etats : Etat tangible EXP.
Expression booleenne : real(H3) = VRAI
Etat de panne numero : 11
Temps moyen passe dans cette panne : 55.2815
Contribution en indisponibilite asymptotique : 0.487779
Nombre de sequences : 4

Num Seq.	**Transitions**			**Duree Moy. Après init**	**Contrib. en PA**	**Contrib. cumulee**
	Nom	**Taux**	**Type**			
4758	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP	1.1736e+02	3.8592e-01	3.8592e-01
5992	[deff DE reseau]	1.0000e-06	EXP	2.2547e+02	4.1632e-02	4.2756e-01

	[defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	INS INS INS INS EXP EXP INS INS INS EXP			
5246	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, defi DE dieselBsoll] [rep DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	1.2652e+02	3.5393e-04	4.2791e-01
5110	[deff DE reseau] [bon DE ilotage_soll] [deff DE ilotage_fonc] [bon DE mcdies_soll] [defi DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE dieselAsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 1.0000e-01 9.9990e-01 1.0000e-03 9.9900e-01 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS EXP INS INS INS EXP EXP	1.2652e+02	3.5393e-04	4.2826e-01

Etat de panne numero : 16
Temps moyen passe dans cette panne : 55.2814
Contribution en indisponibilite asymptotique : 0.426421
Nombre de sequences : 3

Num Seq.	Transitions			Duree Moy. Après init	Contrib. en PA	Contrib. cumulee
	Nom	Taux	Type			
6270	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 9.9900e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP	1.0810e+02	4.1682e-01	4.1682e-01
6856	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [bon DE dieselAsoll, defi DE dieselBsoll] [rep DE dieselBsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 9.9900e-01 1.0000e-03 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.1727e+02	3.8226e-04	4.1720e-01
6668	[deff DE reseau] [defi DE ilotage_soll] [bon DE mcdies_soll] [defi DE dieselAsoll, bon DE dieselBsoll] [rep DE dieselAsoll] [deff DE mcdies_fonc]	1.0000e-06 5.0000e-01 9.9990e-01 1.0000e-03 9.9900e-01 1.0000e-01 5.0000e-05	EXP INS INS INS INS EXP EXP	1.1727e+02	3.8226e-04	4.1758e-01

7. ANNEXE : DESCRIPTION DU SYSTEME MODELISE PAR LE BDMP DU CHAPITRE 6

Le système à étudier est une version simplifiée (par l'omission des disjoncteurs, dont on a pu montrer par un modèle plus complet qu'ils ne pèsent pas du tout dans les résultats) d'un système réel : les alimentations électriques 6,6kV secourues d'une centrale nucléaire. Ce système est décrit par le schéma ci-dessous. Il est réparable, très redondant et comporte de multiples possibilités de reconfiguration. Pour simplifier, on ne considèrera qu'un mode de défaillance par composant. Une véritable étude en comporterait au moins deux, pour distinguer les pannes courtes des pannes de longue durée, sans que cela change les principes adoptés pour la modélisation, réalisée à l'aide du formalisme BDMP.

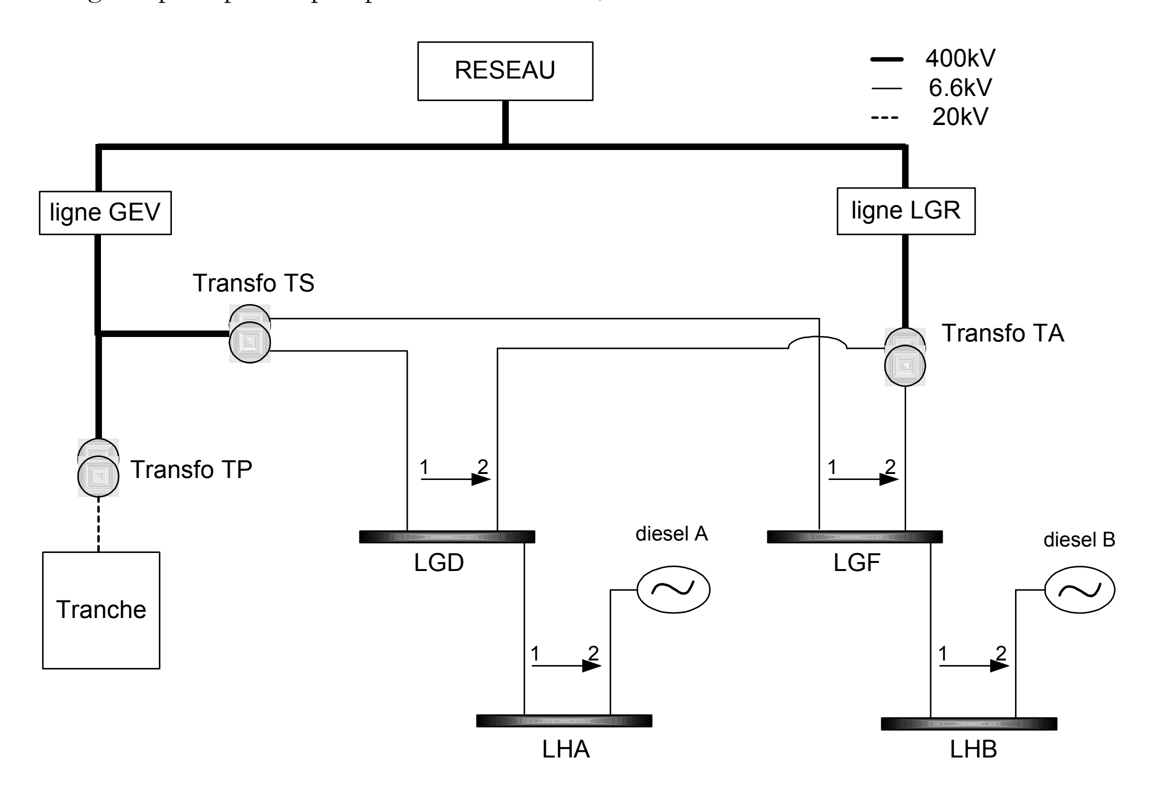


Figure 15 : Schéma électrique des alimentations 6,6kV d'une centrale nucléaire

Les principes de fonctionnement du système sont les suivants : l'alimentation normale des tableaux LHA et LHB provient du transformateur de soutirage de la tranche (TS). Le TS prélève une partie de la puissance produite par la tranche et évacuée sur le réseau. La tranche ne peut fonctionner qu'en deux modes : le mode normal, quand le réseau est disponible, et un mode ilotage, plutôt instable (d'où un taux de défaillance de 0,1/h) destiné à alimenter les auxiliaires de la tranche quand le réseau est perdu. En cas de perte de la tranche elle même ou du transformateur principal TP, c'est toujours par le TS qu'on préfère alimenter les tableaux, avec de l'énergie prélevée sur le réseau. Quand l'alimentation par le TS est impossible, on alimente les tableaux via le transformateur auxiliaire TA. Celui-ci alimente d'autres tableaux, non figurés sur le schéma, en temps ordinaire : il peut donc défaillir à tout moment. Chaque diesel est normalement à l'arrêt, et doit démarrer en ultime recours pour alimenter le tableau LH auquel il est lié. Il ne peut avoir de défaillance tant qu'il est à l'arrêt. Lorsque les deux diesels sont sollicités en même temps, il peuvent tomber en panne simultanément, soit par défaillance de cause commune, soit par défaillances indépendantes. Ils peuvent également subir des défaillances de cause commune en fonctionnement.

Les données de fiabilité suivantes (factices) permettent de compléter la description du système.

Type de composant (ou nom de défaillance)	Probabilité de défaillance à la sollicitation	Taux de défaillance (par heure)	Taux de réparation (par heure)
reseau		1,00E-06	8,00E-03
lignes		5,00E-06	1,00E-02
transfos		2,00E-06	1,00E-03
tableaux		2,00E-07	1,00E-01
diesels perte fonc		1,00E-04	2,00E-02
diesels perte soll	1,00E-03		1,00E-01
mc_diesels_fonc		5,00E-05	1,00E-02
mc_diesels_soll	1,00E-04		5,00E-02
Ilotage_soll	5,00E-01		Cf commentaire ci-dessous
Ilotage_fonc		1,00E-01	Cf commentaire ci-dessous

Remarque :
une modélisation fine du mode de restauration de l'ilotage nécessite la saisie d'un petit réseau de Petri. Pour simplifier on représente l'ilotage par une *feuille_i* et une *feuille_f*, figurant respectivement les défaillances à la sollicitation et en fonctionnement. On suppose que le taux de « réparation » de l'ilotage vaut 1,00E-03/h, ce qui revient à dire qu'en cas de scénario du type perte de réseau, échec ilotage, réparation du réseau, si une deuxième perte de réseau intervient peu après, l'ilotage sera considéré comme indisponible.